(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4562339号
(P4562339)
(45)発行日　平成22年10月13日(2010.10.13)　(24)登録日　平成22年8月6日(2010.8.6)

(51)Int.Cl.　F I
G02F 1/01 (2006.01)　G02F 1/01 C

請求項の数 26 (全 49 頁)

(21)出願番号	特願2001-535097(P2001-535097)
(86)(22)出願日	平成12年10月13日(2000.10.13)
(65)公表番号	特表2003-513328(P2003-513328A)
(43)公表日	平成15年4月8日(2003.4.8)
(86)国際出願番号	PCT/US2000/028450
(87)国際公開番号	WO2001/033268
(87)国際公開日	平成13年5月10日(2001.5.10)
審査請求日	平成19年6月8日(2007.6.8)
(31)優先権主張番号	09/433,830
(32)優先日	平成11年11月3日(1999.11.3)
(33)優先権主張国	米国(US)

(73)特許権者　591003943
インテル・コーポレーション
アメリカ合衆国　９５０５２　カリフォルニア州・サンタクララ・ミッション　カレッジ　ブーレバード・２２００
(74)代理人　100089705
弁理士　社本　一夫
(74)代理人　100076691
弁理士　増井　忠弐
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰
(74)代理人　100080137
弁理士　千葉　昭男
(74)代理人　100096013
弁理士　富田　博行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】差動導波路対

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の最低次のモード・プロファイルと印加された場の増加に伴う第１の実効屈折率の第１の変化率とによって特徴付けられる第１の導波路と、
光学エネルギーを結合させるために前記第１の導波路に近接して配置され、第２の最低次のモード・プロファイルと印加された場の増加に伴う第２の実効屈折率の第２の変化率とによって特徴付けられる第２の導波路セグメントと、
前記第１の導波路及び前記第２の導波路セグメントに場を印加するために配置されたアクチュエータ電極と、
を備え、
前記第１の変化率の大きさが前記第２の変化率の大きさと実質的に異なり、
前記第１の実効屈折率と前記第２の実効屈折率との間の差が、印加される場を変化させることによって修正され、
前記印加される場を変化させることによって前記結合を修正するように、前記第１の導波路と前記第２の導波路セグメントとの間の光学的に結合の存在と大きさが前記第１の実効屈折率と第２の実効屈折率との差に依存する
差動導波路装置。
【請求項２】
前記の印加される場が電場であり、前記アクチュエータ電極が印加された電圧で駆動される、請求項１に記載の装置。

【請求項３】
前記第１の導波路及び前記第２の導波路が、光路に沿って端部どおし整列される、請求項１に記載の装置。
【請求項４】
前記第２の導波路セグメントが第２の光路長によって特徴付けられ、
前記第２の変化率が実質的にゼロであり、
前記第１のモード・プロファイルと重なる関係で前記第１の導波路に配置され、光学的フィードバックを供給するためのブラッグ反射周波数で特徴付けられる格子を更に備え、
前記電極の駆動が、前記第２の光路長を修正することなくフィードバック周波数を修正する、
請求項３に記載の装置。
【請求項５】
光学的共振器を更らに備え、
前記格子が前記共振器の反射器であり、
前記第２の導波路が前記共振器のキャビティ内導波路であり、
前記電極の駆動が、前記共振器の複数の縦方向モードから縦方向モードを、該縦方向モードの周波数に同調することなく選択する、
請求項４に記載の装置。
【請求項６】
前記第２の導波路が前記第１の導波路に対して実質的に平行に配置され、前記結合が方向性結合である、請求項１に記載の装置。
【請求項７】
前記結合が前記電極の駆動によって修正される、請求項６に記載の装置。
【請求項８】
前記の印加される場が温度場であり、
前記アクチュエータ電極が抵抗性であって、印加電流により駆動され、
前記第１の実効屈折率と前記第２の実効屈折率との間の差が、前記印加電流を変えることによって変えられる、
請求項１に記載の装置。
【請求項９】
第１のモード・プロファイル及び前記第２のモード・プロファイルと重なる関係で配置される格子を更に備える、請求項１に記載の装置。
【請求項１０】
前記第１のモード・プロファイルが、印加される場の増加に伴う屈折率の高い変化率を持つ材料と第１の重なりを有し、
前記第２のモード・プロファイルが、前記の高い変化率の材料と第２の重なりを有し、
前記第２の重なりは前記第１の重なりよりも実質的に小さく、
前記第１の変化率の大きさは前記第２の変化率の大きさよりも実質的に大きい、
請求項１に記載の装置。
【請求項１１】
前記第２の重なりが実質的にゼロに等しい、請求項１０に記載の装置。
【請求項１２】
前記の高い変化率の材料がクラッド層材料である、請求項１０に記載の装置。
【請求項１３】
前記第１の実効屈折率及び前記第２の実効屈折率が動作温度において実質的に等しい、請求項１０に記載の装置。
【請求項１４】
前記第１の導波路及び前記第２の導波路が、それぞれの導波路のコア材料と周囲のクラッド層材料との間の異なる屈折率コントラストで特徴付けられる、請求項１に記載の装置。

【請求項１５】
前記第１の導波路、前記第２の導波路及び前記アクチュエータ電極が、
基板と、
前記基板を覆って配置される第１のクラッド層と、
前記第１のクラッド層上に配置される第１の細長いコア材料領域と、
前記第１の細長いコア材料に近接して前記第１のクラッド層上に配置され、前記第１の細長いコア材料との間で光学的に結合される第２の細長いコア材料領域と、
前記細長いコア材料領域のうちの少なくとも一つの上に且つその周囲に、前記第１のクラッド層の上に異なる厚さで、前記第２の細長いコア材料の近辺に対して前記第１の細長いコア材料の近くに配置される第２のクラッド層と、
を備えるモノリシック構造を形成しており、
前記コア材料領域が前記クラッド層よりも高い屈折率で特徴付けられ、それにより、光学エネルギーの伝搬のために前記第１の導波路と前記第２の導波路セグメントを規定し、
前記第１のコア材料領域及び前記第２のコア材料領域の近くにおける前記異なる第２のクラッド層の厚さが、外部的に変えられる場に対する前記第１の導波路と前記第２の導波路セグメントとに対する光学伝搬定数の異なる感度を生じ、
前記第１の導波路と前記第２の導波路との間の結合が、実質的に前記の外部的に変えられる場の前記変化とともに変化する、
請求項１に記載の装置。
【請求項１６】
前記第１の光導波路及び前記第２の光導波路に関する前記異なる光学伝搬定数が温度依存性であり、それにより、前記第１のコア材料領域と前記第２のコア材料領域との間の前記光学的結合に関する結合強度が温度変化とともに変化する、請求項１５に記載の装置。
【請求項１７】
前記コア材料領域、前記第１のクラッド層及び前記第２のクラッド層の上に配置される第３のクラッド層を更に備え、
前記第３のクラッド層が、前記第２のクラッド層とは実質的に異なる温度依存性で特徴付けられ、
前記第１の光導波路及び前記第２の光導波路での光学的伝搬が、前記第３のクラッド層との異なるモード重なりで特徴付けられる、
請求項１６に記載の装置。
【請求項１８】
前記光導波路のうちの一方に対するモード重なりが、該一方での光学的伝搬が実質的に温度から独立であるように行われ、
前記光導波路の他方に対するモード重なりが、光学的伝搬が温度依存性であるように行われる、
請求項１７に記載の装置。
【請求項１９】
前記光導波路に対する前記モード重なりが、該光導波路に対する光学的伝搬が同等かつ反対の温度依存性で特徴付けられるように選択される、請求項１７に記載の装置。
【請求項２０】
前記光導波路の少なくとも一方の上で前記第３のクラッド層上に配置されるヒータ電極構造を更に含む、請求項１７に記載の装置。
【請求項２１】
前記コア材料領域、前記第１のクラッド層及び前記第２のクラッド層の上に配置される第３の電気－光学的クラッド層と、
前記第３のクラッド層上に配置される電場印加用電極構造と、
を更に備え、
前記第３のクラッド層が、印加される電場によって決まる屈折率で特徴付けられる、
請求項１５に記載の装置。

【請求項２２】
前記第１の導波路及び前記第２の導波路に光学的に結合される格子構造を更に備え、該格子構造が結合周波数で特徴付けられる、請求項１５に記載の装置。
【請求項２３】
前記第１の細長いコア材料領域及び前記第２の細長いコア材料領域が、或る長さにわたって互いに実質的に隣接し且つ平行である、請求項１５に記載の装置。
【請求項２４】
前記第２のクラッド層がゼロの厚さを有し、前記第１のコア材料領域の付近で実質的に欠落している、請求項１５に記載の装置。
【請求項２５】
基板と、
前記基板上に配置された第１のクラッド層と、
前記第１のクラッド層の上に配置された第１の細長いコア材料領域と、
光学的結合のために前記第１の細長いコア材料領域から水平に変位し且つ近接して、前記第１のクラッド層の上に配置された第２の細長いコア材料領域と、
前記細長いコア材料領域のうちの少なくとも一方の上に且つその周囲において前記第１のクラッド層の上に配置され、前記第２の細長いコア材料領域の近くと前記第１の細長いコア材料領域の近くとで異なる厚さを有する第２のクラッド層であって、前記コア材料領域が前記クラッド層よりも高い屈折率によって特徴付けられ、それによって、光エネルギの伝搬のための第１の光導波路及び第２の光導波路を規定し、前記第１のコア材料領域と前記第２のコア材料領域との近くで前記第２のクラッド層の厚さを異ならせて、前記第１の光導波路と前記第２の光導波路との外部可変場に対する実効屈折率の変化率を異ならせた第２のクラッド層と、
を備え、前記第１の光導波路と前記第２の光導波路との間の結合が、実質的に、前記外部可変場の変化とともに変動する、
差動導波路対装置。
【請求項２６】
基板と、
前記基板上に配置され、第１の屈折率によって特徴付けられる第１のクラッド材料層と、
前記基板上に配置され、第２の屈折率によって特徴付けられる第２のクラッド材料層と、
前記第２のクラッド材料層に隣接して配置され、印加される場に依存する第３の屈折率によって特徴付けられる第３のクラッド材料層と、
第１の導波路を形成するよう前記第１のクラッド層と前記第２のクラッド材料層との間に配置され、前記第１の屈折率及び前記第２の屈折率よりも大きなコア屈折率によって特徴付けられる第１の細長いコア材料領域であって、前記第１の導波路が、印加される場の増加に伴う第１の変化率を有する第１の実効屈折率によって特徴付けられ、前記第１の導波路が前記第３のクラッド材料層に対する第１の最低次のモード・プロファイルの第１の重なり係数によって特徴付けられる第１の細長いコア材料領域と、
前記第１の導波路との光結合のために前記第１の導波路の近くに配置される第２の導波路を形成するよう前記第１のクラッド材料層と前記第２のクラッド材料層との間に配置された第２の細長いコア材料領域であって、前記第２の導波路が、印加される場の増加に伴う第２の変化率を有する第２の実効屈折率によって特徴付けられ、前記第２の導波路が前記第３のクラッド材料層に対する第２の最低次のモード・プロファイルの第２の重なり係数によって特徴付けられる第２の細長いコア材料領域と、
前記第１の導波路と前記第２の導波路とに場を印加するよう配置されたアクチュエータ電極と、
を具備し、
前記第２のクラッド材料層は前記第１の導波路の近くよりも前記第２の導波路の近くの

方が厚く、
前記第１の重なり係数は前記第２の重なり係数よりも大きく、
前記第１の変化率の大きさは前記第２の変化率の大きさとは異なり、
前記第１の実効屈折率と前記第２の実効屈折率との差は、前記の印加される場によって修正される、
場調整可能な差動導波路カップラ。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
技術分野
本発明は、特に電気通信応用分野で使用するための、厳格に制御された周波数の光学的エネルギーを発生するレーザ装置に関する。より詳細には、本発明は熱的変動に依存せずに、指定された光学的周波数を発生し、一方、その指定周波数を修正することなく熱、電場、又はその他の制御手段によって代替の光周波数の中で同調又は切り換えを行なう能力を有する装置に関する。
【０００２】
背景技術
本発明は、特に電気通信応用分野に使用するための、厳格に制御された周波数の光学的エネルギーを発生するレーザ装置に関する。
【０００３】
さらに具体的には、本発明は熱的変動に依存せずに、指定された光周波数を発生し、一方、その指定周波数を修正することなく熱、電場、又はその他の制御手段によって代替光周波数の中で同調又は切り換えを行なう能力を有する装置に関する。
【０００４】
加入者用帯域についての要求の高まりが、電気通信ネットワークの容量を拡大するための大きな圧力となってきた。高密度波長分割多重化（ＤＷＤＭ）は既存のファイバの高帯域利用を可能にするが、広範囲の顧客への高帯域の供給を可能にするためには低コストの構成部品が必要となる。キーとなる構成部品にはソース、検出器、及び径路選択部品が含まれるが、これらの構成部品は、できれば、あらゆる周波数チャンネルにもアドレス指定可能でなければならない。これらのチャンネルは現在、ＩＴＵによって$\nu_n = \nu_0 \pm n d\nu$として規定され、ここでν_0は中心光周波数１９３．１ＴＨｚであり、ｄνは指定されたチャンネル間隔であって、１００ＧＨｚ又は５０ＧＨｚの倍数に等しいものであってもよい。他の固定の間隔に基づくシステム、及び一様でない周波数間隔に基づくシステムもまた示された。
【０００５】
ＤＦＢ及びＤＢＲレーザのような内蔵型格子を備えた半導体レーザが現在、光ファイバを透過する必要のある周波数スペシフィックのレーザを発生するために使用される。しかしながら、現在の加工技術では、ＩｎＰベースの材料の屈折率が一定でないため、所定の周波数チャンネルを高い歩留りで生産することができない。シリカ、ポリマー及び他の光学材料はより安定な屈折率を保証するので、半導体の利得媒体が別の材料で作製された格子と組み合わされて多くのタイプのハイブリッド・レーザが試験されてきた。単一周波数型ハイブリッド導波路レーザが、周波数選択性及び調節性の利点を得るために半導体導波路増幅器により示された。例えば、外部のプレーナ型導波路に格子を使用したＪ．Ｍ．ハマー等の、Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．４７、ｐ．１８３（１９８５）、ファイバ導波路に格子を使用したＥ．ブリンクマイヤ等のＥｌｅｃｔ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．２２、ｐ．１３４（１９８６）、Ｅ．Ｉ．ゴードンの米国特許第４，７８６，１３２号（１１／２２／８８）、Ｒ．Ｃ．アルファーネスの米国特許第４，９５５，０２８号（９／４／９０）、ＵＶ誘導型格子を使用したＤ．Ｍ．バード等のＥｌｅｃｔ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．２７、ｐ．１１１６（１９９１）、熱的に補償されたパッケージを有するファイバ格子を使用したＷ．モーレーの米国特許第５，０４２，８９８号（８／２７／９１）、チャープ型格子を使用したＰ．Ａ．モートン等のＡｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．６４

、ｐ．２６３４（１９９４）、光学スイッチを備えた多重格子を使用したＤ．Ａ．Ｇ．ディーコンの米国特許第５，５０４，７７２号（４／２／９６）、電気－光学導波路格子を使用したＪ．Ｍ．チュワレクの米国特許第５，４１８，８０２号（５／２３／９５）、角度付き半導体ダイオード導波路を使用したＲ．Ｊ．キャンベル等のＥｌｅｃｔ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．３２、ｐ．１１９（１９９６）、フリップチップのボンディングを使用したＴ．タナカ等のＥｌｅｃｔ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．３２、ｐ．１２０２（１９９６）、単一モード動作に調節したＪ－Ｍ．バーディールの米国特許第５，８７０，４１７号（２／９／９９）を参照されたい。ファイバ導波路増幅器を備えた単一周波数ハイブリッド導波路レーザも示された。Ｄ．フーバの米国特許第５，１３４，６２０号（７／２８／９２）及びＦ．レオンバーガの米国特許第５，３１７，５７６号（５／３１／９４）を参照されたい。

【０００６】

今日ではガラス及びポリマー材料を含めた数多くの堅牢な熱－光学材料が利用可能であり、それらは導波路の光学部品を作製することにも使用可能である。Ｍ．ハルナ等のＩＥＥＥ Ｐｒｏｃｅｅｄｉｎｇｓ ｖｏｌ．１３１Ｈ、ｐ．３２２（１９８４）、及びＮ．Ｂ．Ｊ．ディーメーア等のＪ．Ｌｉｇｈｔ．Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ、ｖｏｌ．７、ｐｐ．４４９～４５３（１９８９）を参照されたい。最近になって、ポリマーの導波路及び共振器において、熱的に調節可能な格子が作製された。Ｌ．エルダダ等のＰｒｏｃｅｅｄｉｎｇｓ ｏｆ ｔｈｅ Ｏｐｔｉｃａｌ Ｆｉｂｅｒ Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｓｏｃｉｅｔｙ ｏｆ Ａｍｅｒｉｃａ、ｐ．９８（１９９９）及びＮ．ブードマの米国特許第５，７３２，１０２号（３／２４／９８）を参照されたい。

【０００７】

レーザ共振器の熱的な補償は、ＤＷＤＭ指定の狭い周波数帯域全体の中で厳格に動作しなければならない構成部品の要件である。ポリマー材料を使用し且つ熱的に補償された共振器が示された。Ｋ．タダ等のＯｐｔｉｃａｌ ａｎｄ Ｑｕａｎｔｕｍ Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ ｖｏｌ．１６、ｐ．４６３（１９８４）、及びＹ．コクブン等のＰｒｏｃｅｅｄｉｎｇｓ ｏｆ ｔｈｅ Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓ Ｒｅｓｅａｒｃｈ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｓｏｃｉｅｔｙ ｏｆ Ａｍｅｒｉｃａ、ｐ．９３（１９９８）を参照されたい。ファイバ格子に基づいた装置のための熱的に補償されたパッケージもまた示された。Ｗ．モーレーの米国特許第５，０４２，８９８号（８／２７／９１）、Ｇ．Ｗ．ヨッフェ等のＡｐｐｌ．Ｏｐｔ．ｖｏｌ．３４、ｐ．６８５９（１９９５）及びＪ－Ｍ．バーディールの米国特許第５，８７０，４１７号（２／９／９９）を参照されたい。温度と無関係な特性を生み出すために、シリカ－ポリマー混合材料を使用する熱的に補償された導波路もまた示された。Ｙ．コクブン等のＩＥＥＥ Ｐｈｏｔｏｎ．Ｔｅｃｈｎ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．５、ｐ．１２９７（１９９３）及びＤ．ボスクの米国特許第５，８５７，０３９号（１／５／９９）を参照されたい。また、レーザ装置の相互接続のためにシリカ－ポリマーの導波路が使用された。Ｋ．フルヤの米国特許第４，５８２，３９０号（４／１５／８６）を参照されたい。

【０００８】

格子で補助されたカップラは周波数制御に有用な装置である。Ｒ．Ｃ．アルファーネスの米国特許第４，７３７，００７号（４／１２／８８）で述べられたような、格子で補助されたカップラは、モード固定器、増幅器、変調器及びスイッチを含む数多くの構造が知られている。Ａ．Ｓ．キューイッチの米国特許第５，８７５，２７２号（２／２３／９９）を参照されたい。格子で補助されたカップラはレーザ、モード固定器、エタロン、アッドードロップ（add-drop）・フィルタ、周波数ダブラなどを含む共振器に使用されてきた。例えば、Ｅ．スニッツァの米国特許第５，４５９，８０１号（１／１９／９４）及びＤ．Ａ．Ｇ．ディーコンの米国特許第５，５８１，６４２号（１２／３／９６）を参照されたい。格子とファブリーペロー・フィルタを組み合わせることがＤＷＤＭ応用のために検討されてきた。例えば、Ｂ．オルテガ等のＪ．Ｌｉｇｈｔｗａｖｅ Ｔｅｃｈ．ｖｏｌ．１

７、ｐ．１２４１（１９９９）を参照されたい。
【０００９】
発明の概要
本発明によると、一対の導波路には、それらの間の光学的結合が提供される。導波路は印加される場に対して異なる屈折率応答を有し、それにより光学的結合を修正する。一つの実施の形態においては、導波路対は同調可能な平行カップラに組み込まれ、その結合は、印加される場によって屈折率の差を変えることによって同調される。印加される場は、温度場、又は、電気的、音響的、応力的、化学的又はその他の場であってよい。センサの実施の形態においては、平行カップラにわたって結合されるパワーが測定され、結合光学的パワーが導波路対の温度に関係する温度センサでのように、場の強さが決定される。別の実施の形態では、２つの導波路のうちの一方が、共振器周波数に同調することなしに他方の導波路に同調可能に結合される共振器に対してキャビティ内にある。更なる実施の形態においては、導波路対は、２つの導波路の逆符号の屈折率変化によって強い同調を提供するよう、同方向性の（codirectional）格子補助型カップラに組み込まれる。更に別の実施形態においては、導波路対は、アレー型導波路格子のような波長選択性の干渉装置に組み込まれ、アーム間の位相関係の所望の空間的パターンが、実質的に一様な場の印加によって調節される。特定の実施の形態では、導波路対はシリカ・コアと下層のクラッド層から作製され、シリカの上層クラッド層が異なる厚さで２つの導波路に形成される。その結果、熱－光学材料を備えた２つの導波路のモードに対する異なるモード重なりが生じ、温度に対する屈折率の差動的変化を生み出す。その構造を作製し、同調する方法が記述される。
【００１０】
本発明は、添付の図面と関連させた以下の詳細な説明を参照すると更に良く理解される。
発明を実施するための最適モード
熱－光学材料は便利さと堅牢さを有し、ヒータの駆動で動作させるか又は同調する光学装置に組み込むことができる。しかしながら、通信のような応用にとって、熱的に安定した装置が信頼性のために必要となる。本発明は、高度に熱的安定性を有する同調用構成部品を、その動作のキーとなる特徴において温度に安定な装置に含ませる独自の方法を説明する。本発明の一つの実施の形態では、準備された温度に影響されない周波数セットの中でチャンネル切り換え可能に光を発射する周波数同調可能なレーザを説明する。本発明のまた別の実施の形態では、準備された温度に影響されない周波数セットの中でチャンネル切り換え可能に周波数を交叉接続する周波数同調可能な交叉接続装置を説明する。
【００１１】
同調可能なレーザの動作
当該技術で知られているように、レーザの同調には、通常は、相互に依存し合う２つの因子、すなわちａ）自体の相互作用帯域の中で動作が生じるであろう格子のような周波数選択性素子の同調、及びｂ）周波数選択性素子の帯域内でレーザ放射するであろう正確な光周波数を決定するレーザの縦方向モードの同調が含まれる。例えばＤＢＲ（分散型ブラッグ反射器）レーザでは、チップ温度を変えると格子とモードとの周波数が、通常は異なる率で変位し、モード跳躍挙動につながる。
【００１２】
本発明では、高信頼性のために温度に影響されないキャビティの自由スペクトル領域（ＦＳＲ）を形成する手段が記述される。さらに、ＦＳＲを指定の周波数チャンネル間隔に等しくなるように合わせるために本明細書で説明する方法によって、キャビティの往復光路長が調節され得る。それによって、キャビティは所望の光周波数でレーザ放射するように調節される。キャビティが無熱であるように設計される場合、周囲温度のドリフトに影響されない、完全な周波数基準もまた通信チャンネル周波数に供給可能となり、波動固定器のような外部基準装置を供給する必要が無くなる。キャビティの自由スペクトル領域は、
【００１３】
【数１】

$FSR = C/(nL)_{eff}$ （１）
で与えられ、ここで往復光路長$(nL)_{eff}$は、
【００１４】
【数２】
$(nL)_{eff} = \Sigma_i (n_{i\ eff} L_i)$ （２）
で表され、ここで$n_{i\ eff}$はキャビティ内で光が横切るｉ番目部分でのモードの実効屈折率であり、L_iはｉ番目部分の物理的長さであり、合計はキャビティの往復で横切る径路部分全体にわたる。導波路内の光学モードの実効屈折率は、同一の伝搬定数
【００１５】
【数３】
$\beta = 2\pi n_{eff}/\lambda$ （３）
又は波数（モードの電場が伝搬方向に沿って$E \propto e^{i\beta z}$として変化する）の平面波を与える、等価の均一な媒体の屈折率である。
【００１６】
本発明の一態様では、キャビティの自由スペクトル領域はシステム・インテグレータ又はＩＴＵ（国際電気通信連合）によって設定される所定のＤＷＤＭチャンネル間隔に等しくなるように設計される。好ましい実施の形態では、キャビティの実効往復光路長が６０００ミクロンとなるように、ＦＳＲは５０ＧＨｚとされる。図１に示した直線状キャビティ及び屈折率約３．３で４００ミクロン長さの好ましいＩｎＰ半導体レーザ・チップの場合、レーザ・チップのエッジと格子の開始部との間の導波路径路の光路長は約１６８０ミクロンとなる。もしも導波路の実効屈折率が約１．４５であるならば、その物理的長さは、２つの導波路間の当接結合隙間を無視して、約１１６０ミクロンである。
【００１７】
この好ましい実施の形態の変形では、キャビティの自由スペクトル領域は所望の通信チャンネル間隔の有理部分に等しくなるように設計される。すなわち、
【００１８】
【数４】
ＦＳＲ＝（通信チャンネル間隔）・ｎ／ｍ （４）
であり、ｎ及びｍは整数である。もしも所望のチャンネル間隔が５０ＧＨｚである場合、例えばＦＳＲ＝５０・ｎ／ｍ ＧＨｚとなる。ｎ／ｍ＜１であるならば、これは共振器の物理的長さをｍ／ｎ倍に増加させるのに有用となり得るもので、設計及び加工事項を単純化させる。１つの例では、ｎ＝１及びｍ＝２であれば、有理部分は１／２であって、望ましいキャビティの往復光路長は１２０００ミクロンとなり、共振器内で熱補償、テーパーなどのためのスペースは２倍以上にできる。この状況で、格子の同調要件はなお同じであるが、格子が連続的に同調されるならば、レーザ周波数は２５ＧＨｚ増分でホップし、１つおきのホップにより光周波数は望ましい通信チャンネルになる（いくつかの通信システムは２５ＧＨｚのチャンネル間隔を使用することが可能であり、その場合には、このキャビティ長についてｍ＝１となる）。また、ｎ＞１であれば、連続的にアドレス指定された周波数チャンネルをインターリーブすることが有用となり得る。別の例では、ｎ＝２及びｍ＝１ならば、有理分数は２となり、レーザは２番目の通信チャンネル毎に連続してホップし、その周波数領域で２つの装置をインターリーブすること、又は摂動、エージング及びドリフトに対して装置の安定度を増すことに有用となり得る。これらの手法は、ｎ＝２及びｍ＝３の別の例のように組み合わせることも可能であって、そこでは往復光路長は９０００ミクロンとなり、動作中のレーザ周波数は最初に＋３３．３ＧＨｚへホップし、その後、＋６６．６ＧＨｚとなるが、両方の周波数は中間的な通信チャンネルであって、その後、開始時のチャンネルから２つの５０ＧＨｚ間隔を置いた通信チャンネルである＋１００ＧＨｚとなる。
【００１９】
無熱キャビティ
本発明の別の態様では、無熱の自由スペクトル領域を生成するために負特性の熱－光学係

数が利用されるレーザ共振器に、熱－光学ポリマーの領域が組み込まれる。ＦＳＲを無熱にするために、すなわち装置温度に影響されなくするために、装置パラメータは許容誤差内で関係式

【００２０】

【数５】

$$d\,(nL)_{eff}\,/dT = \Sigma_i\,(dn_{i\ eff}/dT \cdot L_i + n_{i\ eff} \cdot dL_i/dT) = 0 \quad (5)$$

【００２１】

を満足するように選択される。ここで、合計は光路に沿ったキャビティの多様な全縦方向部分にわたって取られる。Ｋ．タダ等のＯｐｔｉｃａｌ ａｎｄ Ｑｕａｎｔｕｍ Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ ｖｏｌ．１６、ｐ．４６３（１９８４）を参照されたい。これらの量はすべて、シリカ、シリコン、ＩｎＰ、ＧａＡｓ、ガラス、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどを含めた通常の非ポリマー材料において正特性であるので、ハイブリッド又は多重材料の手法が必要とされる。温度補償を達成するための従来の解決法は、上記の合計において１つの長さＬｉ（普通は空気中の径路長）の大きな負のｄＬ／ｄＴを、２つの大きな長さ（普通は支持構造の張り出し部材で、一方はキャビティから離れる方向を指し、他方はキャビティに向かう方向を指す）の間の差に等しくすることであった。内側に向かう部材が、その対応する外側に向かう部材よりも大きな熱膨張係数を持つように選択することで、温度上昇につれて径路長Ｌｉが減少するように支持構造を配置することができる。例えば、Ｗ．モーレーの米国特許第５，０４２，８９８（８／２７／９１）「ブラッグ・フィルタ組み込み型温度補償光導波路装置（Ｉｎｃｏｒｐｏｒａｔｅｄ Ｂｒａｇｇ ｆｉｌｔｅｒ ｔｅｍｐｅｒａｔｕｒｅ ｃｏｍｐｅｎｓａｔｅｄ ｏｐｔｉｃａｌ ｗａｖｅｇｕｉｄｅ ｄｅｖｉｃｅ）」、及びＪＭ．バーディールの米国特許第５，８７０，４１７（２／９／９９）「導波路ＤＢＲレーザ源用温度補償器（Ｔｈｅｒｍａｌ ｃｏｍｐｅｎｓａｔｏｒｓ ｆｏｒ ｗａｖｅｇｕｉｄｅ ＤＢＲ ｌａｓｅｒ ｓｏｕｒｃｅｓ）」を参照されたい。

【００２２】

本発明の好ましい実施の形態では、導波路のクラッド層に負の熱－光学係数を供給するためにポリマー材料が使用され、導波路の設計は温度と共に負の正味変化をするように調整される。ポリマーのキャビティ内部での長さは、許容誤差内で、式（５）が根本的に合致するまで調整可能である。使用材料が厳密にポリマーである必要はないことに留意すべきであり、必要なことのすべては負の熱－光学係数である。この材料は、式（５）で合計に影響するようにキャビティ内に配置される。式（５）に現れるのが実効屈折率であるので、光学モードで伝搬する幾らかの光学エネルギーは、往復光路長の一部で負係数材料を通過するのに充分である。ポリマー材料は光学的導波路のクラッド層ないしコア、又は両方の部分に使用することが可能である。ポリマーの熱－光学係数は大きい傾向にあるので、光学的キャビティの横断において光学モードによって掃引される光学モード体積の一部だけが、ポリマーによって占められることを必要とする。

【００２３】

キャビティは、そのＦＳＲを変えることなく無熱であるように作製されることが好ましい。この目的を達成するために、推奨される解決策は、光路長を望ましいＦＳＲに必要な値に保ちつつ、ポリマーの熱的係数及び重なり係数を調整することである。上記の長さの場合、ダイオード・レーザを通る往復は、式（５）の第一項に対して約０．２ミクロン／℃貢献する。正味の熱的係数（温度上昇に伴なう実効屈折率の変化）が約－９×１０$^{-5}$℃$^{-1}$である場合、熱的補償はポリマーの導波路によって達成される（式（５）の第二項は小さい）。好ましい実施の形態では、コア材料は正の熱的係数を有し、ビーム強度の大部分が通過するが、ポリマーのクラッド層は大きい負の係数を有するので、キャビティ全体を補償することに有効になる。

【００２４】

ポリマーの補償材料の内側で伝搬する導波路における光学モード・パワーの一部分は、重なり係数Γ_cで与えられ、

【００２５】

【数６】

Γ_c＝（ポリマーを伝搬するモード・パワー）／（全モード・パワー）

（６）

で表される。これは、導波路コアの設計及び光学ポリマーの設置に依存して０．数パーセント～最大４０％またはそれ以上の範囲にわたり得る。シリカのクラッド層上に設けた好ましい２ミクロン平方の高コントラスト２％シリカの導波路については、モードの指数の尾部は、図１１Ａと関連して説明するように、コアからポリマーのクラッド層に侵入する。好ましい実施の形態においては、ポリマーの屈折率が（例えばハロゲン化及び／又は混合によって）純粋シリカのそれと等しくなるように調整されていると仮定すると、ポリマー材料は方形コアの４面のうちの３面の上にクラッド層を形成するので、重なり係数Γは約４０％となる。ｄｎ／ｄＴが約－２３×１０$^{-5}$℃$^{-1}$であるポリマー材料がこの共振器の熱的補償を達成する。大きい負のｄｎ／ｄＴを持つ材料は、比例的に小さい重なり係数又は負のｄｎ／ｄＴの材料を通るときの小さい物理的長さを有する設計で使用することができる。例えば、３４×１０$^{-5}$℃$^{-1}$のｄｎ／ｄＴを持つ材料を使用する場合、望ましい重なり係数は上記の構造において２６％へ低減される。

【００２６】

式（５）を満足する許容誤差は応用分野に依存する。通信応用分野のケースでは、通信チャンネル間隔、いわば５ＧＨｚの部分のモード周波数変位が動作温度の温度範囲で許容され、その温度範囲は温度調節された装置については１度の数分の一に過ぎないこともあり、温度調節されていないパッケージについては５℃、５０℃又はそれ以上であり得る。５０℃の範囲は、式（５）で約±０．００１ミクロン／℃の許容差を意味する。実際の装置でこの許容差を達成するためには、ポリマーのｄｎ／ｄＴ及び導波路長は１％の数分の一までの精度に制御されることが好ましい。パラメータの値によって、キャビティ長の許容範囲は、（例えば広い４００ＧＨｚチャンネル間隔の場合）約１０ミクロンにまで増大するか、又は（狭いチャンネル間隔の場合）１ミクロン以下まで低下することもあり得る。

【００２７】

格子が上記の熱的に補償された導波路設計と一体化されると、都合のよい広い同調範囲が結果的に得られる。ポリマーのモード重なり係数と熱－光学係数がともに大きいせいで、ポリマーのクラッド格子１３０又は１３２の同調範囲は大きくなる。格子ポリマーの温度が１００℃の範囲にわたって走査されると、－２３×１０$^{-5}$℃$^{-1}$及び４０％の重なり係数を持つ上記のポリマー材料のケースでは、格子波長は約９ｎｍにわたって同調する。

【００２８】

動作において、装置は共振器の光路に沿って所定の温度プロファイルに設定される。レーザ増幅器は熱を発生し、ポリマー導波路よりも高い温度にまで上昇する。図２と関連して説明するＴＥ冷却器又は基板ヒータのような、装置に取り付けられるヒータ又は冷却器が、利得領域又はキャビティ内導波路の温度を変化させることができる。動作中の装置がいったん平衡温度に到達すると、熱的プロファイルは導波路に沿って空間的に異なるが、時間的には一定になる。周囲温度の変化はほぼ一定の量で全体のプロファイルを変化させる。特に、好ましいシリコン基板のケースのように基板の熱伝導度が大きい場合、周囲温度の変化は空間的に一様な熱的プロファイルを発生する。そのような温度変化は、式（５）により説明されるように、無熱であるキャビティにおいてはＦＳＲ又はモード位置を実質的に変化させない。

【００２９】

レーザの実施の形態

図１は、ハイブリッド型の同調可能なレーザ・チップ１００の好ましい実施の形態を示している。半導体レーザ・チップ１１０は、基板チップ１２０にフリップチップ・ボンディングされ、２つの一体型導波路チップのハイブリッドを生成する。このレーザ・チップは

、１５５０ｎｍ領域又は１３１０ｎｍ領域で発光するようにＩｎＰから作製されることが好ましい。導波路１１２及び１１４は、充分な注入電流により励起されると、１５５０ｎｍ或いは１３１０、９８０、８６０、７８０、６３０又は５００ｎｍのような望ましい波長又は別の有用な波長領域を含めた光周波数の動作帯域にわたって光学的増幅を供給する。１５５０ｎｍレーザについては、通常の利得帯域は（１５２０～１５７０ｎｍ又は１５６０～１６１０ｎｍのような）約５０ｎｍであり、従来の帯域又は拡張動作帯域でのＥｒドープしたファイバ増幅器の増幅帯域の一部と重なるものとなる。利得帯域幅は注入電流が低下すると小さくなり、高い注入電流及び適切な量子井戸設計では１２０ｎｍ以上の大きさにもなり得る。レーザ・チップの２つの導波路１１２及び１１４は、ｘ－ｚ平面に配列されて基板チップ上に作製された２つの（利得を供給しない）受動的な導波路１２２及び１２４に当接結合される。レーザ導波路１１２及び１１４から放射されるエネルギーの実質的部分はプレーナ一体型の導波路１２２及び１２４に結合され、そこでは結合損失は１０ｄＢ未満又は４ｄＢ未満でさえあることが好ましい。レーザ・チップ１１０の垂直方向（ｙ方向）の整列はレーザ・チップ及び基板の処理層の厚さを制御することによって得られる。レーザ導波路１１２及び１１４から放射される光は、整列された当接結合の結合領域で導波路１２２及び１２４に結合される。代替の利得領域は、一般に半導体ダイオード・レーザ、ファイバ・レーザ、色素レーザ、カラーセンタ・レーザ、固体レーザ又は有用な周波数帯域にわたって光学利得を供給可能な他の増幅媒体の活性領域の変更を含む。

【００３０】

テーパー付きの導波路部分１２６及び１２８は、異なる形状の導波路１１２、１１４と１２２、１２４との間の結合効率を改善するために使用可能である。図３、図４、図７Ａ、図７Ｂ及び図８を参照されたい。

【００３１】

導波路１２２及び１２４は、多様な普通の製造技術の１つによって基板１２０上に一体化することができる。好ましい手法では、当該技術で知られているように、シリカの導波路が火炎加水分解法を使用して低損失で高い再現性でもって作製される。火炎加水分解では、火炎で生成される粒子の層（シリカのスス）が火炎への投入物により決定される化学組成で表面上に堆積する。粒子の固体の膜への圧縮は、典型的には、引き続き行われる高温の圧密処理工程によって達成される。そのような導波路は、０．４％、０．７５％及び２％を含むＧｅドープされたコア材料を使用した様々な屈折率対比で入手可能である。Ｇｅドープされた材料は、当該技術で知られているように、ＵＶ照射に対して感受性があるばかりでなく、パターニングされた光ビームで露光することによって（格子のような）屈折率を高めたパターニングされた領域を作製できるという更なる利点を有する。他のドーパントもまた、原子価状態の変化の結果として生じ得る光感受性の屈折率を有することで知られている。所望であれば、コアの厚さで１～１０ミクロン及びそれ以上、クラッド層の厚さで数ミクロンから数百ミクロンの範囲を含む、最も有用な層の厚さが利用可能である。顧客設計によるチャンネル導波路を商業的に作製することが可能である。チャンネル導波路は、典型的には、下層のクラッド層材料の上にコア材料を堆積した後に反応性イオン・エッチング（ＲＩＥ）を行うことによって作製される。ＲＩＥのステップは、導波を達成するために保持が必要なマスク領域以外の高屈折率コア材料を除去する。チャンネル導波路の加工に引き続き、シリカの上層クラッド層が顧客の希望によって適用されたり、されなかったりする。適用される場合、上部クラッド層材料は、典型的には、コア材料の全側面をクラッド層で取り巻いている下層のクラッド層材料（純粋シリカ）と同じ屈折率にされる。好ましい実施の形態では、高コントラストの、２％導波路コア材料、２×２ミクロンのチャンネル寸法のものが選択された。

【００３２】

代替として、導波路は、コア層に対して屈折率を高めて化学的に選択され且つＲＩＥによってパターン化された、スピンオンされたポリマー層から作製され得る。代替の基板はＩｎＰ、ＧａＡｓ、ガラス、シリカ、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどを含む。代替の導波路材料はTa_2O_5、Nb_2O_5、TiO_2、HfO_2、及びSiO_2のような酸化

物、シリコン、ＧａＡｓ、ＩｎＰ、ポリマーのような半導体、及び以上の材料をリン、水素、チタン、ホウ素、窒素その他を含めた様々なドーパントでドープ又は混合したものを含む。代替の製造法はインディヒュージョン（indiffusion）、スパッタリング、蒸発、湿式及び乾式エッチング、レーザ・アブレーション、漂白などが含まれる。プレーナ型、角型、楕円形、リッジ型、埋め込みリッジ型、逆リッジ型、拡散型、エア・クラッド型、中空型、被覆型、クラッド・ストリップ型、３層型、４層型、５層型などを含む様々な導波路構造もまた利用可能である。以上の材料、方法及び構造の組み合わせは、工程のフローに互換性があり（すなわち分解、剥離又は半製品の受容できない化学的変化や物理的修正という結果を招かず）、光学的損失がそれなりに低く（すなわちごく短いチップについたは１０ｄＢ／ｃｍ未満、より長い導波路については１ｄＢ／ｃｍ未満）、最終構造の通過屈折率プロファイルが少なくとも１つの方向において局所的に隣接する材料と比べて高い屈折率を有しており、少なくとも１つの１次元導波するプレーナ型導波路又は２次元導波するチャンネル導波路を形成する限り、使用することができる。

【００３３】

図１１Ａは、図１の導波路１２２及び１２４の好ましい断面の実施の形態を示している。この導波路は、シリカの下層クラッド層、パターン化されたＧｅドープのシリカのコア、及び下層シリカ・クラッド層の屈折率に殆ど等しくなるように（許容差約１．５％未満）屈折率を選択されたポリマー材料の上層クラッド層で作製されたポリマー構造を有している。好ましいポリマー材料は、Ｍ．アマノの米国特許第５，６７２，６７２（９／３０／９７）に構造（Ｇ）、（Ｈ）、（１３）、（１４）、（１８）、（２０）、（２３）又は（２４）として述べられているような、重水素置換されてハロゲン化されたポリシロキサンである。ポリシロキサン、アクリル酸塩、ポリカーボネートなどを含めたその他のポリマーもまた、赤外域での光学的損失を低減して他の層に対する接着性及び屈折率を調整するオプションの重水素化又はハロゲン化により、使用することができる。層の厚さ、導波路ストライプの幅及び屈折率に依存して、実質的な割合のモード・エネルギーがポリマーのクラッド層において伝搬する。この割合は１パーセントの極く僅かの部分から１０分の幾つかに至るまで多様である。導波路１１００の断面は、紙面から手前の方へチャンネル導波路に沿って伝搬する強度等高線レベルによって表わされる光学モード１１８０を示している。チャンネル導波路はシリコン基板１１７０上にシリカの下層クラッド層を備えて作製されるが、最初は均一なＧｅドープ層を正方形リッジ１１４０にエッチングして導波路のコアを形成させる。このリッジ層の上層にポリマーの上層クラッド層１１４２がスピンオンされるが、スピン及び硬化工程における不完全な平面化処理に起因してリッジの上に僅かな隆起が示される。

【００３４】

構造１１２０は電極である。使用する材料の性質に依存して、その使用法及び特性はわずかに異なる。好ましい熱－光学ポリマー装置については、層１１４２は熱－光学ポリマーであり、電極１１２０は導波路構造を制御可能な方式で加熱するために抵抗性のストライプである。材料１１４２が極性の非直鎖状ポリマーのように電気－光学的である場合には、例えば、構造１１２０は、基板の裏面又はパッケージ壁における、又は図示されているが電極１１２０から横方向に移動した上面における等の遠隔の別の電極に向けて材料１１４２を横切って電場を印加するための電極である。

【００３５】

図１１Ｂは、代替の導波路の実施の形態を示すものであって、分離した上部電極１１２２及び１１２４、下層クラッド層の下に設けられた下層電極１１２６、及び追加の上層クラッド層材料１１４１を備えている。図示した下層電極により、電気－光学的装置の作動電圧が低減される。そのように配置された電極間の分離がわずかだからである。例えば材料１１４２がポリマー分散液晶（ＰＤＬＣ）である場合、垂直方向及び横方向の電場の印加を可能にするように、分離電極構造を使用することができる。これは印加電場方向の回転並びにその強度の変更を可能にし、ＰＤＬＣ膜１１４２のＴＥ及びＴＭの屈折率に変化をもたらす。さらなる変形では、材料１１４０、１１４４又は１１４１は熱－光学、電気－

光学などの特性を備えた同調可能な材料であってもよい。

【００３６】

導波路１１２及び１１４は、当接結合の境界が導波路内で光の伝搬方向に角度をなし、結合領域からのフィードバックを低減するように、レーザ・チップの前部ファセット１１８近傍で曲げられることが好ましい。この前部ファセット１１８は、代替として、無反射コーティング、屈折率整合などをされてもよい。これらの手段は、格子１３０及び１３２からの周波数選択性フィードバックに関連して前部ファセットからのフィードバックを減衰させ、システムの安定度を向上させる。

【００３７】

図５は、ダイオード・レーザ・チップ１１０と導波路１２２との間の結合領域の詳細な上面図を示している。レーザ導波路構造１１２は、後部ファセット１１６から反射されて導波路に戻る光が良好な結合をするために、ほぼ垂直な入射角度でダイオード・レーザのＨＲコーティングされた後部ファセット１１６に当接する。しかしながら、（後部ファセット１１６と平行であることが好ましい）前部ファセット１１８と角度θ_iで当接するように、導波路は領域５１０で曲率半径Ｒをもって曲げられることが好ましい。曲げられた導波路ダイオードの性能はＣ－Ｆ．リン等のＩＥＥＥ　Ｐｈｏｔ．Ｔｅｃｈ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．８、ｐ．２０６（１９９６）に或る程度詳細に説明されている。角度θ_iは、ファセット１１８で境界からの反射が導波路に再入射しないようにしてこの境界からのフィードバックを阻止するように、充分に大きく（好ましくは約８°）なるように選択される。最小限の望ましい角度は導波路のコントラストと寸法によるが、大雑把な目安として、密な導波路については約５°より大きく選択される。レーザ・チップ内部の実効光学屈折率ｎはほぼ３．３であり、テーパー型導波路コア１２６の実効屈折率は約１．４９であるので、出射導波路の角度θ_rはおよそ１８°となる。

【００３８】

図３で説明するように、屈折率整合材料がレーザ・チップ１１０と導波路構造１２６、１２２との間の間隙に適用されることが好ましい。この間隙は、図３を参照すると、さらに明確に導波路３３０と導波路３２０との間で示されている。境界領域は２つの境界を有し、１つは導波路３２０と隙間の材料との間であり、他方は隙間材料と導波路３３０との間にある。この間隙は空気、真空、又は導波路３２０と３３０の実効屈折率の幾何平均に近いが幾分高い屈折率の材料で満たされ得る（導波路構造１２２及び１２６が基板にダイオード・レーザを取り付けた後に加工される場合、この境界に間隙はできない）。

【００３９】

図１に示した２つの導波路間の当接配置に対する代替として、当該技術で知られているように、レンズ結合、格子結合、並列結合（垂直結合を含む）及び格子補助結合を含めた多くの他の結合手法が使用可能である。垂直結合の場合には、導波路１２２がダイオード・レーザの上部に直接的に作製されるならば達成できるように、導波路１２２はダイオード・レーザ導波路１１２に平行に配置されて垂直方向に分離される。これら２つの導波路の結合は広帯域方向性結合器のそれであっても、より狭帯域の格子補助によるカップラのそれであってもよい。

【００４０】

レーザ・チップで発生した光の一部を受けるために、モニタ用フォトダイオード１４０及び１４２が、この場合には、高反射（ＨＲ）コーテイングを施されていることが好ましいが、入射光の一部を透過するレーザ後部ファセット１１６の近傍に設置される。図示したように、モニタ用フォトダイオード１４０及び１４２はレーザ導波路１１２及び１１４に当接結合された導波路検出器であることが好ましい。レーザのパワーは高く、高検出効率は重要ではないので、この当接結合は厳密なものでない。レーザとモニタ用チップとの間の５０ミクロン以上程度の大きな間隔も許容可能であって、このチップに対する位置決め許容範囲を低下させる。必要であれば、表面フォトダイオードの配置について数多く知られている構成のうちの１つを代替として使用することができる。

【００４１】

格子領域１３０及び１３２は、導波路１２２及び１２４を伝搬する光の一部を反射してレーザ・チップへのフィードバックを提供し、レーザが発振する波長領域を決定する同調可能周波数選択性フィードバック構造である（Ｅ．Ｉ．ゴードンの米国特許第４，７８６，１３２号（１１／２２／８８）「ハイブリッド分散型ブラッグ反射器レーザ（Ｈｙｂｒｉｄ ｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ Ｂｒａｇｇ ｒｅｆｌｅｃｔｏｒ ｌａｓｅｒ）」参照）。格子１３０、１３２及びレーザ・チップの後部ファセット１１６は、ハイブリッド外部キャビティ格子安定化型レーザのレーザ発振器のためのキャビティ・ミラーを形成する。導波路１１２と１１４、当接結合領域、及びそれぞれがテーパーを含む導波路１２２と１２４の一部は、共振器内での光学的エネルギーの伝搬のためのキャビティ内光経路を形成する。これらの格子領域１３０と１３２は、テーパー付きの結合領域１２６と１２８から分離した導波路１２２と１２４の一部において示されている。導波路のこれらの分離されたセグメントは、構造の面及び材料の面で、導波路のその他の部分と同じであっても異なっていてもよい。格子構造はコア層１１４０、クラッド層１１４２、１１４２、１１４４のうちの１つ、又は多層において作製可能である。

【００４２】

レーザ導波路１１２を通る駆動電流が閾値を超えると、提供される利得が発振器の往復光学損失を超え、レーザ動作が得られる。図１の直線状キャビティのＦＳＲは、第１の格子素子とレーザ増幅器チップの後部ファセット１１６との間の光路長により決定される。その他の格子素子からの部分的な反射波は同相で加わって格子反射のスペクトル特性を決定する。これらの部分的反射波は一緒になって、第１の格子素子の位置で格子反射係数の位相と振幅を確立する。格子内の屈折率の変化は、その変化が均一であろうと、加熱、電気－光学材料への電場印加、応力の印加などに起因する複雑なプロファイルを有していようと、そのスペクトルに影響を与えるが、キャビティのＦＳＲには影響しない。

【００４３】

高帯域幅通信に必要とされる単一周波数動作の場合、格子相互作用帯域の幅は、増幅器の利得帯域幅よりもはるかに狭いが増幅導波路を含む共振器のＦＳＲに匹敵することが好ましい。主格子反射帯域の最大値の半値幅が縦方向モード間隔に等しい場合、一度に１つのモードのレーザ光しか放射しない。隣接するモードは、より低い利得を有するので、２つの隣接モードのモード利得を等価するのに充分に格子の帯域が同調されるまで、閾値よりも下にクランプされる。同調期間に２つのモードについて利得が等しくなると、レーザの動作周波数は、その発振モードから、格子が同調しようとする隣接モードへ突然にジャンプする。格子帯域の最大値半値幅は実質的にＦＳＲよりも大きいことで充分であるが、レーザの安定度は帯域幅がかなり大きくなるにつれて悪化する。縦方向モードの間隔よりも小さい帯域幅を有することには幾つかの利点があるが、同調が進行するにつれて、レーザはパワー変調され又は消えてしまうようになる。

【００４４】

駆動電流を変調することによってレーザ強度は変調され、それにより導波路１２２及び１２４を出て出射ファイバに結合される出力パワーが変調される。導波路１２２と１２４は、複数の独立した出力チャンネルを提供する独立したデータで変調され、又は、例えばデータ通信保護の目的で、所望の宛先に独立して径路設定可能な２出力装置を提供する同一データ・ストリームと同時に変調される。レーザ変調はストライプ型導波路１２２と１２４を流れる駆動電流を変調することにより、又は、当該技術で知られているように外部的に達成できる。直接変調はこの構成において低チャープ化で達成されるが、その理由は、駆動電流の変化が格子１３０と１３２の屈折率を変調しないからであり、キャビティの光路の大部分の実効屈折率が変調されないからである。典型的には、最大変調速度はキャビティ内での往復時間によって、ＦＳＲの何分の一かに制限されるので、ＦＳＲが５０ＧＨｚに設定されると、変調速度は１０～２０ＧＨｚに制限される。

【００４５】

増幅器チップは発熱するので、平均駆動電流の変化は縦方向モードの位置をも変化させる。したがって、動作期間に維持される平均駆動電流を確立することが好ましい。一定の駆

動電流は、例えば遷移キーイング変調方式を使用することにより動作期間に維持することができる。レーザが時間を経るにつれて、一定の出力パワーと良好な変調特性を維持するように平均駆動電流は上昇するはずである。経時変化でレーザの温度が上昇してもチャンネル周波数を維持するために、例えば１５０及び１５２のようなキャビティ内電極に補償レベルの電流を適用することが望ましい。

【００４６】

格子領域１３０及び１３２は、先行技術で知られているように、位相マスクを介するパターニング露光により作製されることが好ましい。格子はＧｅドープされたシリカのコアにおいて水素又は重水素による増感後に作成され、又はクラッド材料がまだ架橋のような化学変化を受けられるように完全に硬化する前にポリマーのクラッド層において作製される。代替の格子作製法には干渉ビームでの露光、パターン化と乾式ないし湿式エッチング、又は直接的パターン・エッチングが含まれ、それらはすべて当該技術で知られており、コア材料又はクラッド材料のいずれにも応用可能である。純粋に周期的な格子の場合、逆反射構造のピーク反射に対するブラッグ波長λ_Bは、

【００４７】

【数７】

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda / m \qquad (7)$$

で与えられ、ここでΛは格子周期、n_{eff}はモードの局所的実効屈折率、ｍは反射の次数である。式（７）の結果は、位相整合を達成するためには、格子の波数２Π／Λが導波路内の順方向伝搬波数と導波路内の逆方向伝搬波数との合計に等しくなければならないとの要件から導かれる。約１．４４６の実効屈折率では、１５５２ｎｍ及び１３１０ｎｍのブラッグ波長が、それぞれ５３７ｎｍ及び４５３ｎｍの格子周期で得られる。正確な動作波長は、格子周期と光学モードの光学エネルギーが横切る膜の厚さと屈折率とを含めた導波路のすべてのパラメータによって決まる。

【００４８】

実際の装置では、格子が精密に周期的であることは殆ど無い。格子周期、格子定数変調及び導波路実効屈折率は、サイドモード反射を低減するものとして知られているアポダイゼーションのような様々な効果を実現し、例えばスーパストラクチャ格子及びサンプルド格子などとして知られている複数の格子ピークを作り、又は、一般に、反射スペクトルの形状を設計するために、導波路の長さに沿って変えられ得る。レーザ共振器（又は発振器又はキャビティ）では、Ｐ．Ａ．モートン等の、Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．ｖｏｌ．６４、ｐ．２６３４（１９９４）により示されたような発振器安定度の促進、及びＡ．グナッゾ等のＩｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓ Ｒｅｓｅａｒｃｈ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｓｏｃｉｅｔｙ ｏｆ Ａｍｅｒｉｃａ、ｐ．４１０（１９９６）により示されたような格子反射帯域のサイドローブ振幅の減衰のために、格子周期を（増幅導波路部分から遠ざかる光の伝搬方向で）短い周期になるようチャープすることが好ましい。横方向導波幅のような導波路パラメータもまた、先行技術で知られているように、格子周波数及び実効屈折率を変えるために空間的に変化させることが可能である。

【００４９】

反射が生じる光周波数帯域は、単一の狭いピーク、広いピーク又はより複雑な複数ピーク構造を有する格子スペクトルの形状によって、非常に様々な形を取り得る。スペクトルの形状は、格子構造に沿って進行する光学位相の詳細設計によって決まる。単一ピーク格子は単一チャンネルを選択するために使用可能であり、広帯域又は複数ピーク格子は複数チャンネルを選択し又は微調整同調などを提供するために使用することができる。

【００５０】

格子は、格子周期又は格子を通って伝播する光の実効屈折率を変えることによって同調される（光と相互作用するための波長を変位させる）ことができる。格子周期は、機械的伸長や圧縮、加熱や冷却、音響的励起などを含む幾つかの手段のうちの１つ又は複数によって材料を伸長させることで変えることができる。格子内の実効屈折率は、好ましい熱－光

学効果、電気－光学効果、圧電効果などのいくつかの手段のうちの１つ又は複数によって変えることができる。非線形光学材料、結晶、液晶及びその他のタイプの、当該技術で知られている材料を含む、熱、電場、圧縮、剪断変形及びその他の適用変化に応じて屈折率を変える材料が使用可能である。格子に沿った光モードの光学エネルギーが横切る材料のすべての部分は、格子スペクトルの変化に影響するように変化可能である。大きなｄｎ／ｄＴを持つ信頼性のあるポリマー材料が利用可能なため、最近の製品の反射帯域を変位させるためには熱－光学効果が好ましい。

【００５１】

熱－光学効果は、温度で屈折率を変化させる幾つかの材料の性質である。図１１Ａのポリマー導波路の部分を加熱すると、熱－光学効果によって顕著に実効屈折率が変化する。熱膨張の影響は相対的に小さい。ＩｎＰレーザの能動的導波路（ｄｎ／ｄＴ＝２５×１０$^{-5}$℃$^{-1}$）のような若干数の材料は大きな熱－光学係数（ｄｎ／ｄＴ）を有しており、シリカ（ｄｎ／ｄＴ＝１×１０$^{-5}$℃$^{-1}$）のような若干数の材料は温度による屈折率の小さな変化率を有する。ポリマー材料は、その熱－光学係数が負で且つ大きい（ｄｎ／ｄＴが－１０～－３５×１０$^{-5}$℃$^{-1}$の範囲）ことで特異であって、例えばＲ．Ｓ．モシュレフザデー等のＪ．Ｌｉｇｈｔｗａｖｅ　Ｔｅｃｈ．ｖｏｌ．１０、ｐ．４２０（１９９２）を参照されたい。本発明では、格子の相互作用周波数に同調するため、共振周波数に同調するため、及び光学エネルギーが通る他の材料の正特性の屈折率熱変化を補償することで装置を無熱にするために、光路に沿ってポリマー層が使用される。特に、共振器のような熱的に不感の構造とポリマー格子のような強度に熱的に同調することのできる構造との組み合わせを含む有用な装置が作製される。

【００５２】

格子の温度の変化は、格子の熱的な空間プロファイルの共振キャビティへの実質的な「漏洩」が無ければ、ＦＳＲには実質的に影響を与えない。好ましい実施の形態では、全体としてのキャビティは無熱であるように作製される（一様な温度変化に影響されないように補償される）。しかしながら、キャビティ内の個々のセグメントは実質的な熱係数を有する可能性がある。好ましい実施の形態では、導波路１２２の構造は格子１３０において、又、テーパー１２６と格子１３０との間のキャビティにおいて同じである。ヒータ１６０からの熱的空間プロファイルの一部がレーザ・キャビティに重なる程度まで、ヒータ１６０による格子の同調は、モード周波数に残留変化を生成する。理想的には、格子の温度同調は、格子の温度を変えるがキャビティ内導波路構造の温度を変えない急峻な空間的熱プロファイルによって達成される。格子長さの外側の導波路領域を低く加熱するようにヒータ電極１６０と１６２を設計し、シリコンのような高い熱伝導性基板１２０を設け、処理層の厚さを格子導波路と基板との間で薄く保つ（他の拘束条件にさらされる）ことによって、不本意なモード同調を、１ＦＳＲのごく一部分までのような許容範囲に制限しながら、格子の完全な同調範囲を実現することができるように、縦方向モードで格子の熱的同調の影響を最小限にすることができる。代替として、格子に隣接するキャビティ内導波路の一部は格子の熱プロファイルの「漏洩」領域で無熱であるように設計することができる。

【００５３】

そのような条件下では、ヒータ・ストライプ１６０及び１６２を流れる電流により格子１３０及び１３２のブラッグ波長に同調することは、縦方向モード周波数を修正することなく縦方向モードから次のモードへのレーザ出力の一連の個別の周波数ジャンプ（モード跳躍）を生み出す。動作時の光周波数は、キャビティの縦方向モード間の周波数範囲を横切ることなく不連続的にデジタル方式で同調する。縦方向モードが通信周波数チャンネルと一致する場合、たとえヒータ・ストライプの電流がアナログ方式で連続的に変えられるとしても、装置は通信チャンネルをデジタルで変える。デジタル同調により、チャンネル精度は、同調駆動器（例えばヒータ電流）の精度ではなくチャンネル周波数の仕様精度によって決まる。

【００５４】

一対の蛇行型ヒータ・トレース１５０、１５２を格子領域１３０、１３２と出力ファセッ

ト１１８との間の場所で導波路１２２、１２４に配置することが可能である。ヒータ・トレース１５０、１５２は電極１５４と１５６、及び１５８と１５９でそれぞれ終了する。電極対１５４及び１５６を介して電流を注入するとヒータ・トレース１５０が励起され導波路１２２の温度を、ヒータ・トレース１５０のパターン及びこのトレースから出て（最終的には）基板に至る拡散により決定されるように、その長さの一部に沿って上昇させる。同様にして、電極対１５８及び１５９を介して電流を注入すると、ヒータ・トレース１５２が励起され、導波路１２４の一部の温度を上昇させる。ヒータ・トレースはプラチナ、ニッケル、ニクロム、導電性ポリマーなどのような抵抗性材料のストライプから作製され、下層への伝導度又はワイヤボンド又は接着の望ましい特性を得るため、又はレーザ・アブレーション、エッチングなどの以後の処理ステップに対する電極応答性を修正するために、必要に応じて単層又は多層の形であってもよい。このストライプは、フォトレジストのパターン化とそれに続くレジスト材料の液相ないし気相エッチング（例えば化学ないしＲＩＥエッチング）及びレジスト剥離のようなリソグラフィ手段によって、当該技術で知られているように、パターニングすることができる。これらの電極及びヒータ・トレースはハイブリッド外部キャビティ格子安定化型レーザの往復光路の光路長を調節するために使用可能であり、該キャビティでは、往復光路は、共振器における同相の空間の同じ点を通る引き続く経路を通る（格子ないし結合部から増幅導波路部分に至る反射のような）光学モードが後続し、且つ増幅器導波路部分を横切る径路であり、$n_{i\ eff}$はキャビティ内で光が横切るｉ番目部分のモードの実効屈折率であり、L_iはｉ番目部分の物理的長さであり、合計は横切る径路部分全体である。ヒータは、ヒータに隣接する熱流で決定される領域のポリマー・クラッド層の熱－光学効果により導波路の実効屈折率を下げる。これが共振器の光路長を低減し、ＦＳＲを増大させ、縦方向モードをより高い周波数へと同調させるが、その他の係数はすべて一定である。

【００５５】

本発明の一つの実施の形態では、往復光路長は、共振器縦方向モード周波数のいくつかが所望の通信チャンネル周波数セットと一致するように光路長及び自由スペクトル域を調節するために、ヒータ１５０及び１５２の手段によって調節され得る。又は、ヒータ１５０及び１５２は連続的なアナログ方式で装置の動作周波数を同調させるために使用される。

【００５６】

蛇行型ヒータ・トレース１６０、１６２は、格子領域１３０、１３２内の位置で格子領域全体を横切るように導波路１２２、１２４付近に配列される。このヒータ・トレース１６０及び１６２は電極１６４、１６６、１６８及び１６９で終了する。電極対１６４及び１６６を介して電流を注入すると、ヒータ・トレース１６０が励起され、ヒータ・トレース１６０のパターン及びこのトレースから出て（最終的には）基板に至る拡散により決定されるように、導波路１２２の温度を格子領域１３０に沿って上昇させる。ここでも、ヒータは、ヒータに隣接する熱流で決定される領域のポリマー・クラッド層材料の熱－光学効果を通して導波路の実効屈折率を下げる。格子領域の実効屈折率の変化は式（７）のように格子の周波数応答を同調させ、格子部分を加熱すると相互作用の周波数が増大する。格子は、単にそれぞれのヒータ電流又は電力を制御することで一緒に又は別々に同調することができる。

【００５７】

ヒータ・トレース１６０及び１６２のストライプ・パターンは、格子の長さに沿って一様なヒータ電流の関数として熱的変化を形成するよう、格子に沿って一様であることが好ましく、それにより格子相互作用のスペクトル形状を大部分維持する。図示したように、熱的変化もまた導波路の横方向寸法にわたって更に一様となるように、ストライプ・パターンは格子領域で導波路の両側を横切る。導波路に沿って単一のヒータ・ストライプを使用することは、全ての格子を１つの端部で一緒に接地できるという利点を提供する合理的な代替形態である。

【００５８】

ヒータ・ストライプ１５０及び１５２もまた蛇行型として示されているが、一様であるこ

とは共振器の往復光路長に同調させるための要件ではない。電極ないしパッド１５４、１５６、１５８、１５９、１６４、１６６、１６８及び１６９は、ヒータ電源（図示せず）への接続リードのボンディングを促進するよう、耐酸化性のある金又はその他の材料で作製されることが好ましい。これらの電極の位置は厳密なものではなく、電極位置とヒータ・トレースとの間の接続が不本意な電力消費を削減するよう低い抵抗値を有するならば、チップ上の別の位置に移動させることは可能である。以上に述べた目的を達成するような数多くの他のヒータ及び電極の設計が利用可能且つ有用である。

【００５９】

本発明の一変形形態では、ヒータ・ストライプにより誘導される導波路に沿う熱的プロファイルは、格子相互作用のスペクトル形状がヒータ電流の関数として熱的に誘導される位相変位分布により変わるように、ストライプ幅の変更、導波路軸からのストライプの距離の変更などを含む様々な手段で格子長さに沿って不均等にされてもよい。

【００６０】

熱－光学的に同調可能な格子については、キャビティは無熱であるように作製可能であるが、格子自体を無熱にすることはできない。このため、周囲温度に対する格子の周波数感度を制限するために、基板の絶対温度を安定化させることが望ましい。基板が熱的に安定化されるならば、格子に供給されるヒータ・パワーもまた絶対的な動作周波数を決定するように使用できる。格子周波数のある程度のドリフトはモード跳躍を引き起こさなければ受容可能であり、したがって基板安定化の要件はあまり厳しくない（電気－光学、圧電などの装置では、格子は基板の熱的安定化の必要性を除外するために真に無熱であるに設計されることが好ましい）。基板温度を安定させるために、（ＴＥ冷却器２１２のような）ヒータ及び／又は冷却器を駆動して所望の範囲内に温度を調節するために、当該技術で知られているように、電子制御フィードバックループを備えた単純な温度センサを基板又はその近辺に取り付けることが可能である。

【００６１】

曲がった導波路領域１７８が、ダイオード・レーザ・チップと平行な光ファイバのセットに出力結合を提供するために角度θ_rで導波路を折り返すよう、チップ１００上で導波路１２２及び１２４に設けられ、これにより同一チップ上の複数のレーザに対する設計のスケーリングが容易になる。チップを横方向（ｘ方向）に拡張することで、３ないし４又はそれ以上の導波路を備えたさらに広いレーザ・チップを、テーパー、格子、加熱区画及び出力ファイバＶ溝により、既存の導波路に隣接してレイアウトされた追加の導波路に結合することができる。これは、２重屈曲構造により、各々の導波路について同じ長さのセグメントにより行われる。領域１７８の曲線状導波路の半径は、屈曲損失を最適化するように選択可能であって、２％コントラスト・シリカ導波路にとって良好な選択は約２ｍｍ以上の曲率半径である。この屈曲が共振キャビティの外側に配置されていることで共振キャビティの長さを短縮し（その変調帯域を増大させ）、損失を削減することに留意すべきである。テーパーの前又は後ではあるが格子の手前（したがってキャビティの中）でこの屈曲を取り入れる代替の設計（図示せず）は、格子領域もまたレーザ・チップと平行になるから、一層小型化できるという利点を有する。

【００６２】

Ｖ溝１７０及び１７２は、一対のファイバ（図示せず）を導波路１２２及び１２４の出力端部への結合を補助するために設けられる。Ｖ溝はボンディング・スロット１７６を横切って延び、垂直の側壁が出力ファイバと導波路１２２及び１２４との当接結合を可能にする整列スロット１７４で終了する。Ｖ溝の深さと位置は整列スロット１７４で出力ファイバのコアを導波路１２２及び１２４とほぼ同軸に整列させるように調節される。

【００６３】

図６は、導波路１２２とＶ溝１７０との間の結合領域の詳細な上面図を示している。整列スロット１７４は、導波路のコア１２２が終了する垂直に近い側壁６１０とともに作製されることが好ましい。ファイバはＶ溝１７０に置かれ、Ｖ溝の角になった２つの側部に向けて緩やかに押し付けられ、側壁６１０に向けて前方に緩やかに押し付けられる。接着剤

が領域１７９（図１参照）に置かれて硬化され、ファイバをその位置で固定する。ボンディング・スロット１７６は接着剤がファイバ又はＶ溝に沿って側壁６１０の光学的界面にしみ込むのを防止する。ｘ－ｚ平面でのＶ溝の位置及び角度、及びＶ溝の深さは、取り付けられたファイバが導波路のコア１２２と同軸に整列されるように設定されることが好ましい。シリコン、シリカ及び他の基板でのＶ溝の加工は、多数の代替の実現法を提供する、スロット設計及びファイバ取り付け工程として当該技術で知られている。

【００６４】

レーザの裏面及びレーザ・ダイオードのストライプへの共通接続に対する電気的接続は、ワイヤボンド接続を介して中間電極１８１、１８２、及び１８３、．．．にそれぞれ為されることが好ましい。モニタ用フォトダイオード１４０及び１４２への接続もまた、ワイヤボンド接続を介して１８４、１８５、．．．のような接続パッド（又は電極）に、共通接続として１８１を使用して為され得る。ノイズに敏感な電子回路で起こり得るように、共通接続が電気的に望ましくない場合には、独立の電極を各々の共通機能に対して使用することができる。例えば、モニタ用ダイオードは、１つ又は同等の２つの独立の共通電極（図示せず）を有することが可能である。

【００６５】

図２は、ハイブリッドチップ・アセンブリ１００のパッケージ構成２００の破断面図を示している。チップ・アセンブリ１００は、その下面１０２において、直列に接着された２つの熱電冷却器２１２及び２１４に接着されることが好ましい。２つの冷却器は、チップ１００と周囲温度との間の大きな温度差を可能にするように使用され、広い周囲温度範囲においてもチップ１００を望ましい小さな温度範囲に維持しながら動作が得られることが好ましい。より広い又はより狭い動作範囲に対しては、より多い又はより少ない冷却器を使用すればよい。周囲温度の振れの範囲が５℃程度である場合、冷却器は必要でない。ＴＥ冷却器は、銅、アルミニウム、コバール、セラミックなどを含む幾つかの適切な熱伝導性材料のうちの１つで作製されるパッケージの一部として示すヒートシンク２２０に接着される。このヒートシンクは周囲の空気への熱伝導性向上のためにフィンを有し、又はフィン（図示せず）に取り付けられてもよい。電気的接続２３０～２３３が、絶縁領域２３６を通って出現するパッケージのリード２３４とチップとの間に示されている。接続２３０～２３３は、直接的には電極１６４～１６９のようなチップ上の電極に対するものであってよく、又は、直接的ないし間接的（電極１８１～１８５．．．経由）には、モニタ用ダイオード１４０ないし１４２又はレーザ・ダイオード１１２及び１１４のようなハイブリッド型集積素子の電極領域対するものであってもよい。チップ・アセンブリ１００に接続されたファイバは、コネクタ又はシール材（図示せず）のいずれかを介してパッケージを通って現れる。シール板２４０は、例えば湿気を除去するために気密シールが望ましい場合には、パッケージの残り部分にハンダ付けされ又は溶接される。或いは、シール板は接着剤でシールされ、気密性が必要でなければ、注型封入材料で置換され得る。

【００６６】

代りに、周波数選択性のフィードバック構造は、同方向結合又は反射結合で格子補助されたカップラ、バルク光学格子、（例えば導波路を横切って導波路フレネル反射器を形成するために２つの平行なファセット又はトレンチをエッチングすることで作製される）バルク型又は導波路の共振或いはエタロン、ないしは、バルク光学器具、導波路又は他の一体型光学部品を含む光学的構造により増幅器媒体にフィードバックされる光周波数範囲内でスペクトルを選択することができる他の装置であってもよい。これらの構造のうちの幾つかは、単純リング、相互接続された多重リング、及び３次元的導波路構造の更に複雑な位相幾何を含むリング・レーザの実施の形態と互換性がある。

【００６７】

リング・レーザの実施の形態

図９は、図１の直線状共振器構造の実施の形態１００に対する代替のリング共振器構造の実施の形態９００を示している。増幅器チップ９１０の増幅器導波路９１２の両端にある２つのファセット９１６及び９１８から発射される光放射は、それぞれ導波路９２２及び

９２４に当接結合されることが好ましい。増幅器チップ９１０は、導波路９２２及び９２４が一体化される基板９７０にフリップチップ・ボンディングされることが好ましい。導波路９２２及び９２４はループ状に曲げられ、その横方向モード・プロファイルが重なり合うがその実効屈折率n_{eff1}及びn_{eff2}は結合を無視できるほど異なっていることが好ましい平行結合領域で相互に接近して通る。光学的フィードバックを低減し、ファセット間のレーザ放射を抑制するために、反射防止手段が、ファセットに角度をなす導波路を含む前述の代替形態の中から、ファセット９１６及び９１８に設けられる。光学格子９３０は、２つの導波路を通る光学エネルギーを重ね合わせて導波路の光学モード間の結合を可能にする位相整合を提供し、それにより、２つの導波路、カップラ及び増幅器導波路で形成されるリング共振器を巡るレーザ・フィードバックを生じさせる。

【００６８】

この結合を達成するために必要な格子９３０の格子周期Λは、格子の波数２Π／Λが２つの導波路の波数の差と等しくなければならない、すなわち、

【００６９】

【数８】

$$\Lambda = \lambda / |n_{eff1} - n_{eff2}| \quad \text{（同方向カップラ）} \qquad （８）$$

という位相整合要件から導かれる。Λが式（８）をほぼ満足するとき、一方の導波路を伝搬する光は並列カップラを横断して他方の導波路に結合され、光の伝搬方向はリングを回る伝搬と同じ方向に維持される。例えば、ファセット９１８から発射される光は導波路９２４に結合され、格子９３０によって導波路９２２に渡り、そこでレーザ・チップ９１０に戻る方向に伝搬し、ファセット９１６で増幅器導波路９１２に戻るように結合される。この光は増幅されてファセット９１８で再び発射され、リング共振器の周回を形成する。ファセット９１６から発射される光は導波路９２２に結合されてループを反対方向に伝搬し、したがって単一方向素子（図示せず）が導入されない限り、このリング共振器は双方向にレーザ放射する。導波路９２２及び９２４を伝搬する光のうちの一部は格子領域を透過してそれぞれの導波路に留まる。この透過光はそれぞれの導波路によって、９２５などの出力表面に導かれ、そこで出現して使用される。個々の実施の形態に関してここで説明した構造及び応用分野はその他の実施の形態にも当てはまる。したがって、例えば、出力ファイバを出力表面９２５で導波路の出力端部に整列させるためにＶ溝を使用し、ＦＳＲを通信チャンネル間隔の有理分数に等しくするよう共振器の光路長に調節を加え、導波路９１６と９１８などの間に異なるキャビティ・モードを結合するよう格子を同調するために格子領域内でポリマー材料とヒータを使用することができる。

【００７０】

図９のリング共振器は、増幅器の利得が導波路リング共振器での損失を克服するのに充分であるときレーザ光を発する。損失は、キャビティの縦方向モードに対しては、格子相互作用のピーク周波数に最も近い周波数で最も低くなる。隣接モードについての利得の抑制が、好ましいモードに比べて小さいとしても、レーザは好ましいモードで発振する。しかしながら、３０～５０ｄＢのような良好なサイドモード抑制比を得るためには、隣接モード間の利得における有意な差が望ましく、したがって格子はすべての他のモードにとって実質的に追加的な損失を持つように設計されることが好ましい。レーザ・チップの注入電流がデータを送信するように変調されるならば、同じデータで変調される２つの殆ど同じ出力が提供される。この特性は、ラインの１つにネットワーク・エラーが生じる場合にバックアップ伝送ラインを必要とするシステムで好都合である。２つの導波路９２２及び９２４からの出力は、導波路９２４による追加の屈曲損失を除いて同じである。

【００７１】

以上は、増幅器導波路から出た光が第一の径路を辿って格子構造と結合し、その後、第２の径路を辿って増幅器に戻るという一般的状況の特定の実現であり、光路は２次元又は３次元の閉ループを形成する。図９のループ全体は導波路セグメントで構成され、格子構造はループ内の格子補助された平行カップラである。図９のリング共振器は無熱であるように作製され、そのモードは指定の周波数チャンネルと一致するよう調節されることが好ま

しい。同調可能な格子装置については、同調メカニズムが格子相互作用周波数を同調しながらキャビティのＦＳＲを変えないことが好ましい。これらの目的の達成は、この場合には、格子がキャビティ内にあるのでさらに複雑である。推奨される解決法は、格子領域９３０にある２つの隣接する導波路に関して熱的係数を等しく且つ反対符号にすることである。格子補助された平行カップラを横断して結合する共振モードは、カップラの各々の側で同じ径路長を横切る。次いで、格子温度が格子の中心について対称的に変化すると、２つの導波路部分の熱依存性が相互に補償し合う。同方向カップラにおいて格子を同調するのは伝搬定数の差であるので、等しい長さの反対の熱－光学係数が加わって正味の熱的同調感度を生成する。

【００７２】

一対の導波路を等しく且つ反対符号の熱的係数にすることは、図１４Ｃ及び１５を参照して説明する構造のうちの１つで達成できる。層１５４２の厚さ又はステップ１４Ｂに示したエッチング深さを調節することによって、ポリマー材料１４４２又は１５４６における残りのモード（例えば１４８２）の重なりの量が調節される。第２の調節可能な設計パラメータは、図１４Ｃの場合には層１４４１の厚さによって、両方の場合には材料１４４２又は１５４６の熱－光学係数によって提供される。これらの線形独立のパラメータを調節することは、等しく且つ反対符号であろうと、ゼロ及び負であろうと、他の何らかの有用な組み合わせであろうと、２つの導波路の熱－光学係数を所望の値にするのに充分である。

【００７３】

装置９００の同調を無熱にする代替の方法は、半導体ダイオード領域９１０に同時加熱入力を加えることである。半導体増幅器の逆の熱的係数は、加熱入力の相対量が等しく且つ反対の光路長変化を生じさせるように調節されるならば、同調期間にＦＳＲに与えられる格子導波路の影響を打ち消す結果をもたらす。この場合には、格子領域内の導波路の一方を無熱であるように作製し、他方に最大の負のｄｎ／ｄＴを持たせることによって、広い同調範囲が得られることが好ましい。

【００７４】

図１０は、代替の実装１０００を示しており、そこでは平行カップラ内の格子は反射格子であり、反射された光は第２の導波路上に結合され、その後、第１の導波路から空間的に分かれ、異なる光路を経由して増幅器導波路セグメントに戻る。反射格子は、典型的には、より狭い帯域幅を提供するので、高いサイドモード抑制比を生じるために好都合である。図９と同様に、増幅器チップ１０１０の増幅器導波路１０１２の両端で２つのファセット１０１６及び１０１８から発射される光放射は、それぞれ反射防止手段を備えた導波路１０２２及び１０２４に結合される。増幅器チップ１０１０は基板１０７０にフリップチップ・ボンディングされる。導波路１０２２及び１０２４はループ状に曲げられて平行カップラ領域で相互に接近して通過する。平行カップラ領域においては、それらの横方向モード・プロファイルは重なり合うが、それらの実効屈折率n_{eff1}及びn_{eff2}は結合を無視できるほど異なることが好ましい。光格子１０３０は、２つの導波路を通る光学エネルギーを重ね、導波路の光学モード間の結合を可能にする位相整合を提供する。この結合を達成するために必要な格子１０３０の格子周期Λは、格子の波数２Π／Λが２つの導波路の波数の合計に等しくなければならない、すなわち、

【００７５】

【数９】

$$\Lambda = \lambda / (n_{eff1} + n_{eff2}) \qquad \text{（逆方向カップラ）} \qquad （９）$$

という位相整合要件から導かれる。Λが等式（９）をほぼ満足するとき、一方の導波路を伝搬する光は反射されて平行カップラを横断し、他方の導波路に結合される。ここでも、光の伝搬方向はリングを回る同じ伝搬方向に維持される。例えば、ファセット１０１８から発射される光は導波路１０２４に結合され、その後、格子によって導波路１０２２内に渡り、そこでレーザ・チップ１０１０に戻る方向に伝搬し、ファセット１０１６で増幅器導波路１０１２に戻るように結合される。この光は増幅されてファセット１０１８で再び

発射され、リング共振器の周回を形成する。ファセット１０１６から発射される光は導波路１０２２に結合され、ループを反対方向に伝搬するので、このリング共振器は閾値よりも高くポンピングされるとレーザ放射する。

【００７６】

導波路１０２２及び１０２４を伝搬する光の一部は、格子領域を透過してそれぞれの導波路に留まる。この透過光はそれぞれの導波路によって出力表面１０２５へと導かれ、そこで出現して使用される。装置１０００のレーザ光放射特性は装置９００のそれと同様である。例にたがわず、他の図を参照して説明した構造及び応用分野も図９及び１０の装置の多様な代替の実施の形態に適用可能である。格子領域１０３０における２つの隣接する導波路の熱的係数は互いに等しいことが好ましい。格子を同調するための熱的プロファイルが格子の端部で急峻に終るならば、格子を同調する温度は共振器の光路長を変えない。逆方向カップラにおいて格子を同調するのは伝搬定数の合計であるので、等しい長さの導波路での等しい熱－光学係数が組み合わさって正味の同調範囲が与えられる。

【００７７】

共振キャビティを調節する方法

作製許容範囲に起因して、装置のバッチのＦＳＲは平均値及び標準偏差で変化するので、高い生産歩留まりを不可能にする。個々の装置のＦＳＲを望ましい値に調節することを可能にする方法が必要とされる。縦方向モードの周波数全体が割り当て周波数チャンネルの１つ（の許容帯域内に入る）に一致するように調節可能な更なる方法が必要とされる。

【００７８】

本発明の別の態様では、図１２Ａ、図１２Ｂ及び図１２Ｃは、共振キャビティを調節する方法を示しており、該方法はＧｅドープされたシリカを露光し、ポリマーを架橋し、キャビティ内材料を除去し、キャビティ内光学エネルギーが横切る領域に追加の材料を堆積させる方法を含み、また、該方法は、１つの許容範囲内で所望の通信ＦＳＲを生成し、別の許容範囲内で所望の光周波数を重ね合わせるために上記方法を計測し応用する方法を含む。

【００７９】

図１２Ａは、ＦＳＲを所望の値に調節する好ましい方法を示している。導波路１２４０は光学システム１２８１を介して電磁放射１２８２で照射される。露光に応答して、導波路１２４０の材料はその屈折率を変化させ、レーザ・チップ１２１０の反射ファセットと格子１２３０との間の光路長を変える。バーディールの米国特許第５，８７０，４１７（２／９／９９）はキャビティ内シリカ・ファイバのＵＶ照射を用いて共振器の縦方向モードをシフトさせることを示した。本発明では、縦方向モードが所望位置に同調される前に、最初にＦＳＲが許容範囲以内に入れられなければならない。多くの材料は屈折率を変化させることで電磁放射に応答し、電磁放射の周波数は（いずれかの周波数での加熱、及び、構造的変化又は化学変化のようなその他の効果を含む）相互作用のメカニズムに従って低く又は高くなる。公知のように、光反応開始分子を含むポリマー混合物は、Ｃ＝Ｃ二重結合のところで架橋するので、光反応開始分子を励起するのに充分なフォトン・エネルギーの可視光又はＵＶ光に暴露されると、徐々に屈折率を変化させる。例えばＧｅドーパントの存在下で紫外光のビームに暴露されると屈折率が徐々に増加するシリカや、露光で色素の漂白や分子組成変化のような化学変化が誘導される色素ドープ・ポリマーを含むその他の材料も、露光で屈折率を変化させる。放射で誘導される屈折率のキャビティ内変化のメカニズムがどのようなものであれ、これらの方法は共振器のＦＳＲを変えるために応用可能であって、誘導される材料変化の性質によって増大又は低下する。

【００８０】

紫外光又は可視光を使用することは、指向されたエネルギー・ビームが装置構造の若干の層を通って通過可能であり、他の層の下に埋め込まれる材料の屈折率を変えることを可能にする点で有利である。例えば、適切に調製されたＧｅ：SiO_2コアは、ポリマー・クラッド層又は保護層の下に埋められても、充分なＵＶ放射がコア材料に到達するならば、ＵＶ照射によって屈折率が調節される。また別の例においては、上部クラッド層のような

架橋可能なポリマー層は、異なる組成を有し得る更に上の保護層を通して、ＵＶ又は可視光により屈折率が調節される。或いは、上層の保護層がない場合には、光学放射の一部が通過するポリマー・クラッド層の下側部分が、光学モードとは関係ないクラッド層の上側部分を通過する光によって屈折率調節される。

【００８１】

ＧｅドープされたシリカのＵＶ露光で補正することによってキャビティにおいて所望のＦＳＲを達成する（露光の進行と共にＦＳＲを低下させる）ために、補正前の作製パラメータは、作製されたが未補正の装置のＦＳＲの統計学的分布の主要部分が所望のＦＳＲよりも上にあるように、所望の値よりもわずかに大きい目標ＦＳＲを生じるように選択される。目標ＦＳＲの補正前偏差の方向は、補正技術の意味から、逆に選択されることが好ましく、それによって、分布のこの主要部分において所望のＦＳＲを生じるように単一の技術（この場合にはキャビティ内屈折率を高めること）を使用することが可能となる。理想的には、目標ＦＳＲは、分布の大部分が目標値と同じ側にあるように、所望の最終値からＦＳＲの標準偏差に匹敵する又はそれより大きい平均量だけ異なる。目標ＦＳＲはまた、露光を適用して簡便に達成できるＦＳＲの変化量を超えない量だけ所望のＦＳＲから異なることが好ましい。ＦＳＲ補正の良好な制御は、引き続き露光ステップを適用しながら個々の共振器のＦＳＲを引き続いて測定することによって達成可能であり、各々の露光は完全な補正に必要な合計露光量よりも小さい。露光ビームのエネルギーは、各々のステップにおいて、当該ステップに対する光路長調節の所望量に従って調節されてもよい。露光される空間的領域もまた、調節工程の期間に変えられるので、光路長の正味の変化量を大きくし、精度を高めるという利点を有する。自由スペクトル領域は、レーザの光学スペクトルを２つ以上の縦方向モードに対して測定することによって測定され、この方法は、キャビティのＦＳＲがチャンネル間隔の数パーセントのような、許容範囲内の通信チャンネル間隔の有理分数に等しくなるまで反復される。

【００８２】

割り当てられた周波数チャンネルに対する縦方向モードの部分集合の望ましい重なりを達成するために、ＦＳＲが所望の有理分数に設定された後、１つのモードの周波数が望ましい割り当てチャンネルに一致するようにシフトされる。自由スペクトル領域が割り当て通信チャンネル間隔に等しく、１つの縦方向モードがチャンネルの１つに一致するように整列されている場合、すべての縦方向モードは直線性の周波数範囲内で割り当てチャンネルと一致する。

【００８３】

図１６は、フローチャート１６００に示したステップで構成されるキャビティ調節方法を示す。増幅器区画は、好ましくは共振器の閾値よりも上で、ステップ１６１０で動作されることが好ましく、その場合には、共振器の縦方向モード付近のスペクトルの狭まりが生じる。縦方向モードが閾値よりも上であるか下であるかを決定するために使用可能な光学出力は存在するが、スペクトル及び出力パワーは駆動電流によって決まるので、レーザは閾値よりも上で動作することが好ましい。この方法の変形においては、ステップ１６１０は共振器の光路を照射するために光源を動作させるステップとなるように修正される。

【００８４】

ステップ１６１５において、キャビティからの光出力がモニタされ、ステップ１６２０において、そのスペクトルの特徴が決定される。特に、少なくとも２つの縦方向モードの中心周波数が、ステップ１６２０において、ＦＳＲを決定するために識別される。このステップは、閾値の上、下いずれであっても達成可能である。ステップ１６４０において、共振器の屈折率がステップ１６３５で露光の望ましい速度又は継続時間を算出した後に修正される。露光の速度及び継続時間は、ステップ１６１５及び１６２０から生じる情報に基づいて算出されることが好ましい。修正するステップ１６４０は、オーバーシュートがないことを保証するために、ステップ１６１５と並行して達成されることも可能であり、ステップ１６２０及び１６３５も同時に達成されてもよい。ステップ１６３５では、測定したＦＳＲが高い精度で所望のＦＳＲに近付き、最後には等しくなるように、処理（処理の

速度及び継続時間）が調節される。目標のＦＳＲに近付いていると決定されると、修正速度は低下されることが好ましく、目標ＦＳＲが許容差内に達成されることがステップ１６２５で決定されると、ステップ１６３０で光路長修正が停止される。

【００８５】

図１２Ｂは、レーザ・キャビティにおけるモードが横切る材料を除去することによってＦＳＲを調節する代替の方法を示している。材料を除去する方法にはレーザ・アブレーションが含まれるが、イオンビーム・エッチング及びその他の技術もまた含まれる。ＵＶ光を吸収する数多くの材料が１平方センチメートル当たり何ミリジュールないし何ジュールかの充分に高い短時間パルスの露光にさらされると除去されることは公知である。キャビティ内導波路に投射されるエネルギー・ビーム１２８３は、光学システム１２８１においてマスクを通過した後に向きを変えられ、集束され又は表面上にイメージを形成するエキシマ・レーザ・ビームであることが好ましい。典型的には、各々のレーザ・パルスが０．数ミクロンの材料を、レーザ・ビーム又はマスクによって規定され得る空間的範囲にわたって空気／材料界面から除去する。除去の後、固体材料で以前占められていた体積は、普通は、大抵の固体材料よりもはるかに低い屈折率を持つ空気又は清浄化ガスで占められる。その結果、除去が生じる導波路の部分の実効屈折率が低下する（もちろん、除去された体積を満たす材料をレーザ堆積すると、実効屈折率を上昇させることができる）。レーザ除去技術は、除去ビームがアクセスできる表面に配置されるように準備され且つキャビティを循環する光学エネルギーによって横切られる材料の一部に適用される。図１では、レーザ除去は、例えば、ヒータ電極１５０と１５２との間の導波路１２２及び１２４、ヒータ電極領域とテーパー導波路領域との間、又は、テーパー導波路１２６及び１２８の領域などに直接適用される。これらの表面で材料が除去されると、その表面の下で光学キャビティを横切るモードに対する実効屈折率が減少し、ＦＳＲが上昇する（除去技術は、ＧａＡｓが除去を行うものとして知られている点で半導体レーザ・ダイオードに適用することも可能であり、電気接点、パッシベーション又は他の何らかの機能を妨害することなく除去のために簡便に利用可能なダイオード・レーザには大きな面積はない）。

【００８６】

材料の始めから用意された表面は光学モードとは関係が薄いが、除去処理を進めることによて、所望の深い表面が現れる。所与の共振器について実効屈折率の大きな変更が必要な場合、レーザ除去処理は、モード強度が最高である導波路コアへ近付くよう、相対的に深いところまで進行する。実効屈折率の小さな変更については、浅いレーザ除去処理が準備される。

【００８７】

大きな変更が必要とされるときでさえも、高い精度が要求されるので、複数の領域の除去が使用され得る。殆どの修正を達成するのに深い除去が使用可能であり、個別の浅い除去が同じ共振器上の異なる場所に実施され得る。浅い除去は大きな露光パルスに対して実効屈折率の小さな変更を提供し、ＦＳＲに対する調節において高い精度が得られる。調節の精度を上げるための更なる方法は、除去ビームに露光される空間的領域の範囲を減らすことである。

【００８８】

図１２Ｃは、レーザ・キャビティに材料を追加することでＦＳＲを調節するという更なる代替方法を示している。材料を堆積させる方法は、好ましい蒸発処理や、レーザ・パンタグラフィと呼ばれるレーザ誘発化学反応、スパッタリングその他を含む。スパッタリング又は蒸発の手法においては、表面に向けられる入射ビーム１２８４は粒子ビームであり、方向設定装置１２８５は電磁的な方向設定器又はマスク又はバッフル・システムであってもよい。これらの方法は、１枚のウェーハ全体上の全ての共振器の全自由スペクトル領域が同時にシフトされるように、制御された速度で材料を一様に堆積させる標準装置を使用することができる。これらの手法は真空中で進められ、外部計測装置に結合されるファイバのような真空と互換性のあるＦＳＲ測定法が必要とされる。レーザ誘発される選択的な堆積技術においては、入射ビーム１２８４はレーザ・ビームであり、方向設定装置はマス

クを含み又は含まない集束光学システムである。レーザ・ビームは堆積表面又はその付近で材料を励起し、レーザで照射される領域付近に化学反応を誘起させ、結果として堆積を生じる。

【００８９】

ここでもやはり、屈折率修正が適用されるキャビティ内導波路の部分の空間的位置は、処理期間中に変えることができる。堆積法においては、屈折率の変更速度は、キャビティ内導波路のの新たな部分に位置が変えられて再び速度が上げられるまで、時間とともに低下する。選択した方法が材料を放射に暴露するものである場合、屈折率の変化は所与の位置で時間とともに飽和し、場所の変更は一定の露光条件で屈折率変化速度を高める。

【００９０】

ウェーハ上の個々の装置をこれらの堆積技術のうちの１つによって別々に照射することで、装置のＦＳＲの個々の修正を達成することができる。処理にバラツキがあるので、ＦＳＲは所与のウェーハにわたって変動する傾向にあり、ＵＶレーザ露光のような空間選択性の手法が推奨される。

【００９１】

周波数選択性交叉接続

図１３は、所定の周波数に一致するように調節され、同調可能な格子を介して導波路に結合される無熱の共振器構成を使用する、本発明の更に別の実施の形態として周波数選択性交叉接続装置を示す。装置１３００は、光の周波数に応じて、入力ポートから入る光を複数の出力ポートへ切り換えて接続することができ、波長スイッチ、アッドードロップ（add-drop）装置、検出器などとして使用することができる。

【００９２】

導波路１３２２、１３２４、及び１３２６は、基板１３７０上に、下層クラッド材料１３４４、コア材料１３４０及び上層クラッド材料１３４２から作製される。格子１３３０は、好ましくは反射カップラを形成するよう平行カップラ領域１３９２に作製される。よく知られているように、導波路１３２４及び１３２２の伝搬定数は異なっていることが好ましく、格子の導波路の波数は反射格子構造における導波路の伝搬定数の合計に等しい。代替の同方向カップラの格子構造においては、伝搬定数の差が利用され、矢印１３２５、１３０６及び１３０８で示す光の流れの方向は逆向きになる。導波路１３２４及び１３２２を伝搬する光モードの横方向プロファイルは、格子１３３０の領域で互いに重なり合って波長λで結合ｋ１（λ）を生じ、この結合は（共振器を形成する導波路１３２４を巡るフィードバックがない場合には）導波路１３２２に入るパワー１３０２の一部分であり、矢印１３２５で示す向きで導波路１３２４に結合される。

【００９３】

導波路１３２４は閉ループを備え、共振器を構成する。導波路１３２４におけるパワーは、導波路１３２４及び１３２６の伝搬定数が許容範囲内でほぼ等しい平行カップラ１３９４に流入し、導波路１３２４のパワーの導波路１３２６への結合ｋ２（λ）を生じる。結合ｋ２の波長依存性は１３９４に格子が存在しないときには結合ｋ１の波長依存性よりもはるかに小さい。代りに、図１７を参照して後述するように、第２の格子構造を１３９４に使用することも可能である。この結合されたパワーは１３０６で導波路１３２６を出る。導波路１３２４における残りのパワーは導波路１３２４の閉径路を辿り、結合領域１３９２に戻り、一部は導波路１３２２に戻るように反射結合される。導波路１３２４を循環するパワーは、全ての周回電場成分と入力ビームの入力場との干渉計的な合計に起因するものである。出力パワー１３０４は、１３０２の場の伝送される残りと共振器からの外部結合される場との干渉計的な合計である。２つの電極パッド１３５４及び１３５６に結合されたヒータ・ストライプ１３５０は、格子１３３０の熱－光学的同調を可能にする。パワー１３０６を測定するために検出器が設置され、その場合には、１３００は検出器又は受信器として機能する。

【００９４】

共振器１３２４は、通信チャンネル間隔の有理分数であるＦＳＲに対して設計されること

が好ましく、製造時に、所望のＦＳＲに等しくなるように、及び、縦方向モード位置を許容範囲内に合わせるように調節され、格子１３３０の発熱に関係無く完全な周波数基準を提供するように無熱であるよう設計される。領域１３２８及び必要であれば１３２９は、所望のＦＳＲ及び縦方向モード周波数を達成するための導波路１３２４の屈折率修正領域である。

【００９５】

格子では２つの導波路間に生じる相互作用が温度に強く依存することが好ましいという事実に鑑みて、共振器に対する無熱の要件は、その実現に若干の問題を提起する。好ましい実施の形態においては、これら２つの見かけ上は矛盾する要件は、共振器導波路１３２４をその長さに沿った全ての部分で無熱であるように設計すること、及び、図１４Ｃ又は１５に示す独特の導波路設計を使用することによって満足される。格子の同調可能性を維持するために、密な間隔の導波路１３２２は温度に強く依存するように作製されることが好ましい。

【００９６】

図１１Ｂは、導波路１３２４に対する好ましい無熱設計を示している。重なり係数Γ_cが大きい図１１Ａに示した設計とは対照的に、図１１Ｂの装置１１１０の断面においては、ポリマー層１１４２の重なり係数Γ_cは、全ての層が光路長$n_{eff}L$の温度による正味ゼロの変化を生じるように、すなわち、

【００９７】

【数１０】

$$d(Ln_{eff})/dT = 0 = d(L\Sigma_i \Gamma_i n_i)/dT = \Sigma_i \Gamma_i (L\,dn_i/dT + n_i\,dL/dT) \qquad (10)$$

であるように充分に小さい。ここで、Γ_iはモードの光学エネルギーが横切る導波路のｉ番目の横断部分に関する重なり係数であり、この場合には合計は所定の縦位置で導波路の全体的横断部分にわたって取られる。例えば、導波路には３つの材料、すなわちポリマー、クラッド層シリカ、コア・シリカが含まれるならば、合計はこれら３つの領域にわたって取られる。導波路の屈折率コントラスト、寸法及び層の厚さ並びにエッチング深さは、ポリマーの重なり係数Γ_cが式（１０）で許容範囲内でゼロを生じる正確な値を取るように設計される。図１１Ｂの任意の電極を使用することはできるが、熱－光学励起のためには、１１２０のような単純な単一電極がヒータ・トレースとして推奨される。格子領域１３３０の好ましい実施の形態においては、導波路の断面は図１４Ｃに示されており、導波路１３２４は横方向モード１４８１を持つ右側の導波路である。

【００９８】

装置１１００及び１１１０に対する好ましい製造工程は、同じように開始される。両方の場合、シリカの下層クラッド層１１４４がシリコン基板１１７０上に作製される。コア層が堆積され、固められ、パターニングされ、エッチングされてリッジ１１４０が形成される。図１１Ａの場合、次いで、層１１４２がスピンオン・トップされ、導波路が完成する。ポリマー層１１４２はモードの伝播軸に近接しており、モード１１８０がポリマー層に実質的に重なる（Γ_pが大きい）ので、この構造は、温度とともにn_{eff}が比較的大きく変化する温度同調可能なものである。図１１Ａの構造は、導波路１３２２、１２２、９２２、１０２２、１０２４、１７２６及び図１５の右側の導波路に適している。

【００９９】

しかしながら、図１１Ｂの場合、好ましくはシリカの層１１４１であってコア層の厚さに匹敵する厚さの別の層が、コア材料１１４０のパターニングの後に堆積されて固められる。比較的小さな重なり係数を達成するために、層１１４１がコア層の厚さの４０％～２００％またはそれ以上の範囲の厚さで堆積される。その後、層１１４１は０％～約９０％の範囲でその深さの部分をエッチバックされる。クラッド層１１４２はスピンオンされて硬化される。層１１４１の深さ及びエッチバックの深さに依存して、モード１１８１の多くの部分又は少しの部分がクラッド層１１４２での伝搬のために現れる。これらのパラメータを調節することによって、重なり係数Γ_cは図１１Ａで得られる値より小さいよう簡便

に調節される。堆積層が薄くてコア層の厚さの５％～４０％の範囲である場合、上層クラッド層１１４２がスピンオンされると、重なり係数は中間的な値を取る。

【０１００】

本質的に無熱である導波路を得るためには、$(dn/dT)_{cladding}$が$(dn/dT)_{silica}$より２０倍以上も大きいので、重なり係数は熱－光学係数の値に依存して０．０５近く又はそれ以下まで低減され得る。導波路で条件（１０）が満たされると、その縦方向のセグメントは、共振器のＦＳＲに影響することなく加熱又は冷却される。構造１１Ａ又は１１Ｂにわたる横方向の熱勾配は、ＦＳＲ及びモード位置に残留変化を導入するので、避けることが好ましい。

【０１０１】

導波路１３２２は、温度による大きな同調速度を得るよう図１１Ａに従って設計されることが好ましい。加熱ストライプ１３５０を励起すると、導波路１３２２及び１３２４のセグメントを含む格子領域１３３０が加熱される。導波路１３２２の実効屈折率は急速に変化し、格子波長の同調を行う。共振器の縦方向モードが実質的に影響されないよう、隣接する導波路１３２４の実効屈折率は一定であり温度から独立している。結合領域１３９４の結合比を温度から独立であるように維持するために、導波路１３２６は導波路１３２４と同じ方式に設計されることが好ましい。

【０１０２】

格子１３３０の反射帯域は通信チャンネル間隔よりも狭いことが好ましい。導波路１３２２から導波路１３２４に転送されるパワーは、格子補助による結合関数ｋ１（λ）と共振器スペクトルとによって決まる。最大の結合値を持つ共振器の縦方向モードは最も強く励起される。構造１３００が周波数選択性検出器として動作するためには、選択した周波数で結合機能が強くなければならず、隣接する（又は他の選択していない全ての）縦方向モードで小さくなければならない。好ましい抑圧は約３０ｄＢ以上である。この抑圧を達成するために、格子カップラの帯域幅は、縦方向モードのうちの１つで格子が反射するように同調されると他の縦方向モードで結合機能が極めて弱くなるように、狭いことが好ましい。格子はまた、アポダイズ及び／又はチャープ化され、或いはこの目的を達成するように設計されることが好ましい。

【０１０３】

格子１３３０は周波数を導波路１３２４に結合させるが、１３２４で構成される共振器が共振しない場合、共振器を巡る複数の径路が位相外れで加算されるので結合が抑制される。格子１３３０がキャビティの共振によって同調されるとき、複数の径路が同相で加わり、結合が強められる。結合格子のアナログ同調にも拘わらず、共振器によって規定される周波数においてのみ共振器１３２４との有意なパワー結合が生じる。パワーは、導波路１３２２から、一度に１つの選択された周波数でデジタル的に結合され、中間の周波数では強い抑圧が行われる。導波路ループ１３２４を巡るパワーの一部が導波路１３２６に結合される。パワー１３０６に結合された検出器を備えるので、装置１３００は、ヒータ１３５０に流れる電流を制御することにより、予め選択されたチャンネル間で切り換え可能な同調検出器となる。パワーの残りの部分は導波路１３２２を透過して流れ、出力１３０４に至る。装置１３００がアッド（add）／ドロップ（drop）装置である場合、出力１３０４は伝送システムでの連続的なファイバに接続され、選択されない周波数は、挿入損失があるが実質的には不変で通過する。装置１３００が同調検出器である場合、戻りの信号が無いことを保証するよう、出力１３０４はアブソーバ及び／又は角度付き反射器及び／又は回折器に結合されることが好ましい。

【０１０４】

インピーダンス整合

１３２４で形成される共振器に対する導波路１３２２の結合係数が指定の周波数で適切にインピーダンス整合されるならば、当該周波数における全てのパワー１３０２は共振器を通って流れ、１３０４を通るパワーの洩れなしにポート１３０６に至る。共振器が共振状態で励起されると、導波路１３２４を出て導波路１３２２に入る、１３９２で結合される

電場の振幅は、導波路１３２２における格子カップラ１３３０を直接通って出力１３０４に至る、１３０２からの残りの入力パワーとまさに逆位相である。完全なインピーダンス整合が達成されるのは、それら２つの波動の振幅が同じであって完全に相殺され、出力チャンネル１３０４に流れるパワーがゼロになるように、共振器の損失及び結合の強度が調節されるときである。完全なインピーダンス整合により、１３０２からの入力パワーの全ては共振器に流れ、出力１３０６と共振器１３２４の消散損失との間で分割される。共振器が不完全なインピーダンス整合を取られ又は非共振状態で励起される場合、当該周波数で１３０２に入力されるパワーの幾分かは出力１３０４へと通過する。

【０１０５】

望ましい状況は、同調可能な格子カップラにより選択される所定の共振器周波数で全ての入力パワーが出力１３０６に流れるように、カップラ１３９２をインピーダンス整合させることである。格子によって選択されない他の全ての周波数において、入力パワーは出力１３０４に透過して流れる。

【０１０６】

完全なインピーダンス整合は、カップラ１３９２の共振結合定数及びカップラ１３９４の結合定数を指定の基準に合致するように選択することによって、共振器の消散損失が分かると設計することが可能である。効率的な動作のためには、１３９４での結合は、消散損失に等しいか又は２倍程度超えるものであるべきである。これにより、カップラ１３９４の結合を、完全なインピーダンス整合を達成するために使用される主要な自由変数とする。製造の際、従前通り、製品の大部分で完全なインピーダンス整合が達成されるとは限らない。歩留まりを上げるためにはインピーダンス整合を微調整する方法が必要とされる。平行カップラ１３９２及び／又は１３９４の結合定数及び／又は共振器導波路１３２４の損失を調節して完全なインピーダンス整合を達成することは可能である。

【０１０７】

カップラの結合定数は、カップラにおける２つの導波路間の横方向モード・オーバーラップと格子の強さとによって決まる。カップラの微調整の際、格子の作製の期間にクロストーク量を測定し、そのクロストークが最小になるように格子の強さを調節することが便利である。例えば、選択したクロストーク量が１３０２から１３０４へ与えられる共振状態パワー供給である場合、これらのパワーの比を、良好なピーダンス整合を生じるよう最小化することができる。このステップは、導波路を完全に作製した後、すなわちクラッド層を堆積した後に行うことが好ましい。格子が可視光又は紫外光のようなエネルギー・ビームによる露光により形成される場合、クロストーク量が所望の閾値より小さくなるまで露光を調節することが可能である。例えば、Ｇｅドープされたシリカのコアの ＵＶ露光は、充分に硬化したポリマーのクラッド層を通して干渉ビームの手法又は位相マスクを使用してコアを照射することで実施可能である。或いは、増感したポリマーのクラッド層の露光が同じ手段によって達成可能である。良好なインピーダンス整合により、１３０４を通って洩れる当該周波数でのパワーを、例えば－３０ｄＢのような所望の低い値まで下げることができる。

【０１０８】

例えば、試験ビームを導波路１３２２に注入して入力信号１３０２を提供することが可能であり、出力信号１３０４として導波路１３２２を出る光の一部に感じるように検出器が設置される。共振周波数でのこれら２つの信号の比は消光比と呼ばれる１つの形式のクロストークである。これは、ウェーハを個別のチップにするスライシング及びダイシングの前又は後に行ない得る。格子１３３０の露光が進行している間に出力信号１３０４として出現する入力信号１３０２の一部を測定することによって、所要の全露光を予測することができ、露光過度状態に達する前に露光を停止することができる。消光比を再測定することによって、露光の小さな増分を計算して、インピーダンス整合を所望の最適値にするよう適用することができる。代りに、アッドードロップのクロストークを、入力１３０８が励起されるときのチャンネル１３０６への出力とチャンネル１３０６への入力との間の比として、共振周波数において測定することができる。

【０１０９】
２つの導波路間での横方向モード・オーバーラップは、導波路のコア間の領域の屈折率を変えることによって、少量だけ調節することができる。ここでもやはり、増感したシリカ領域のＵＶ露光、又はコア間の完全には硬化されていないポリマー領域のＵＶ露光により、この目的を達成することができる。この解決法は、格子を作製するために選択されるメカニズムに関係無く適用可能であるという利点を有する。
【０１１０】
共振器の損失は若干の方法で増加させることができる。格子１３３０での共振器への結合が最適値を僅かに超えるように設計されるならば、共振器の損失は装置を最適のインピーダンス整合にするために増加される。共振器の損失の増大は、例えば導波路１３２４の一部の上にレーザ・アブレーション或いは湿式又は乾式エッチングを施して、共振器のモードのコアに近付くにつれて次第に粗い表面にし、回折、散乱及びモード結合損失のような因子に起因する光学損失を増加させることによって行われる。代りに、レーザ・アブレーション又は増感したシリカないしポリマーのＵＶ照射で反射又は回折損失を生じさせることにより、屈折率の不連続性を導波路の横方向に作製することが可能である。浅い角度の界面（shallow angle interface）は少しの屈折率変化でも多量の光を反射することができる。フォトクロミック分子を共振器にドープして露光の吸収に変化を生じさせるなどによる他の手法もまた可能である。或いは、表面吸収損失を、例えば、何らかの光学損失を生じるよう、金属膜を導波路のコアにほぼ充分に堆積することによって導入することができる。この膜により誘起される損失は、例えば膜のレーザ除去部分によって制御可能に微調整され、それにより共振器の損失を調節することも可能である。
【０１１１】
格子が僅かに中心波長においてドリフトする場合、出力ビーム１３０６の透過スペクトルが僅かに変化するという望ましい事実に留意すべきである。ドリフトの効果は、サイド・モードの抑制における変化として、及び、出力脚部１３０６へのパワーの転送効率の低下（パワー１３０６を受け取るように取り付けられた検出器の検出効率の低下）として現れる。
【０１１２】
キャビティが無熱であり、格子カップラが同調可能であり、ＦＳＲ及び１つのモードが周波数調節されており、インピーダンス整合が完全であるときには、装置１３００はデジタルの波長選択性交叉接続として使用することができる。複数周波数（ＤＷＤＭ）入力は１３０２として接続可能であり、周波数チャンネルのうちの選択された１つが良好な効率と低いクロストークで１３０４から１３０６へと再方向設定される。装置１３００はその他の周波数において本質的に透過性である。
【０１１３】
追加の入力ポートは、１３０８においてパワーがシステムに入ることを許容する。対称性で時間反転不変性により、カップラ１３９２が所定の周波数で入力１３０２から出力１３０６への方向でインピーダンス整合されると、カップラ１３９２は入力１３０８から出力１３０４の方向についても同じ周波数でインピーダンス整合される。このことは、装置がチャンネルを効率的に１３０６に引き出す（drop）ように同調されると、１３０８から１３０４へ効率的にチャンネルを加える（add）ようにも同調されることを意味する。したがって、格子１３３０とそのアクチュエータ１３５０により決定される結合の光周波におけるのデータは、クロストークが小さいか否かとは実質的に無関係に、システムの他の周波数チャンネルに影響を与えることなく、１３０２から引き出されて１３０４に加えられる。
【０１１４】
導波路１３２４は共振器を形成する。光は、共振器の外部との結合及び損失に起因して消失する前に複数の周回を行う。この複数の周回は互いに干渉し合い、インピーダンス整合の現象と共に、すでに言及した特性ＦＳＲ及び縦方向モード・スペクトルを生成する。この状況は、カップラ領域１３９２に全反射格子が配置される状況とは明らかに対照的であ

る。高反射器格子の場合には、光１３０２は、格子１３３０からの一回の反射後に導波路１３２４に入り、ループ１３２４の周りを一周し、ループ１３２４での複数の周回からの実質的干渉を生じることなしに光１３０４として出る。そのような高反射格子装置の機能は、導波路１３２４が共振器を形成する、しないに拘わらず、本質的に同じである。この高反射格子の場合はＡ．Ｓ．キューイッチの米国特許第５，８７５，２７２号（２／２３／９９）に説明されている。干渉なしに、有用な縦方向モードの共振が消失する。

【０１１５】

導波路１３２２又は１３２６は、ファイバ、増幅器、スイッチ、反射器、変調器、電源及び検出器を含む他の装置と結合させることができる。特に、１３２６は１３０８に入る複数の光周波数チャンネルを搬送する通信用導波路にもなり得る。図１３の構成においては、カップラ１３９４は広帯域のカップラであるので、共振器１３２４は実質的にこれら全ての波長と同時に結合される。格子１３３０によって選択された周波数を持つ１３０８への入射光は、出力１３０４へ転送される。この構成においては、装置１３００はチャンネル選択性交叉接続スイッチとして動作し、選択された周波数（又は格子の設計によって決まる周波数）だけが１３０２から１３０６へ、及び１３０８から１３０４へと切り換えられ、他の周波数はすべて通過する。しかしながら、図示したように、カップラ１３９４は広帯域であって数多くの周波数を共振器１３２４に結合させるのに対して、カップラ１３９２は狭帯域であって１つの周波数だけが共振器に結合可能であるので、導波路１３２６は導波路１３２２ほどトランスペアレントではない。導波路１３２６から共振器に結合される周波数は、格子が非共振状態であれば導波路１３２２に結合できないけれども、１３２６には依然として、パルス歪み及び追加のパワー損失のような歪みが結合周波数において存在する。

【０１１６】

図１７は、本発明の更に別の実施の形態１７００を示しており、カップラ１７９４は狭帯域カップラとして作製され、カップラ１３９２と同様の要素を備える。熱－光学格子１７３０及びヒータ・ストライプ１７５０が、既述のように設けられる。導波路１３２４及び１７２６は異なるモード伝搬定数を有し、図１４Ｃ又は図１５に関連して説明したように、異なる熱的係数を有することが好ましい。導波路１７２６は導波路１３２２と同じ様にして作製される。入力１７０８及び出力１７０６は、１７９４にある格子カップラが反射型であるので、図１３とは反対の位置を有する。装置１７００の機能は、導波路１７２６が格子の共振から離れた周波数でトランスペアレントであることを除いて、装置１３００のそれと殆ど同じである。入力１７０８及び１３０２は、出力１７０６及び１３０４に関して対称性である。指定の周波数を１３０２から１７０６へ、又は１７０８から１３０４へと共振器を横断して結合させるために、格子１３３０及び１７３０は、典型的には、望ましい周波数に同調される。１３０２及び１７０８に複数の光周波数チャンネルが存在し、特定のチャンネル上のデータは両方の格子が当該周波数に同調されると交換される。したがって、装置１７００はアッドードロップ及び同調検出器という部分集合機能を含む周波数選択性交叉接続又は光学スイッチとして動作する。２つの格子１７３０及び１３３０は同じヒータ電流によって同時に同調されるが、それらを別々に同調可能にする利点も存在する。

【０１１７】

１７００又は１３００のような複数の装置を単一の入力チャンネル１３０２に沿ってカスケード接続する（つまり、１３０４［ｉ］を１３０２［ｉ＋１］に接続する）ことによって、複数の光チャンネルは複数の出力チャンネル１７０６［ｉ］に独立に引き出され、又は複数の入力チャンネル１７０８［ｉ］から加えられる。１７００又は１３００のような複数の装置を２つの入力チャンネルに沿ってカスケード接続する（つまり、１３０４［ｉ］を１３０２［ｉ＋１］に接続し、１７０８［ｉ］を１７０６［ｉ＋１］に接続する）ことによって、複数の光チャンネルは、複数のデータ・チャンネルをそれぞれ搬送する２つのファイバ間で独立に交叉接続される。

【０１１８】

装置１３００及び１７００は、作用（交叉接続）チャンネルｉから作用チャンネルｊへ変化可能であるので、再構成可能である。チャンネルｉからチャンネルｊへ装置１７００を同調させるとき、チャンネルｉとｊとの間の中間のチャンネルへの作用は避けることが望ましい。チャンネルｉ及びｊがデータを搬送する活動的通信チャンネルによって分離される場合、装置を交叉接続チャンネルｉから交叉接続チャンネルｊに同調させるときに当該活動チャンネルのデータ伝送を有意に摂動させる又は「ヒットする」のを回避することが必須である。装置１７００は中間チャンネルに打撃を与えるのを回避する独特の方法を提供する。２つの格子１３３０及び１７３０は、それらの周波数が中間のチャンネルではなく所望の目的チャンネルでのみ重なるように、異なる時間又は異なる速度で同調される。２つの格子の応答が重ならない場合、共振器においてインピーダンス整合は得られず、中間のチャンネルにおける同調を取る間の中間のチャンネルとの相互作用は大幅に減少される。光は加えられず、引き出されず、又は切り換えられない（共振器１３２４への結合に起因する摂動は存在するが、同調が低速で行われるならば、この摂動は無視できる）。例えばチャンネルｉからチャンネルｊへ同調するためには、最初に一つの格子の同調を取り、その後、他方の格子の同調を取る。作用チャンネルｉは第１の格子の同調が外れると直ちに停止し、作用チャンネルｊは第１と第２の格子がチャンネルｊに同調されるまで開始しない。又は、別の例では、２つの格子は作用を停止させるために所望の量だけ相互に同調を外され、その後、同調が外れた対の格子は所望のチャンネルへと同調され、そのチャンネルで互いに一致するよう再同調される。

【０１１９】

図１８は、複数の格子ピークを使用することによって同調範囲を広げる微調整方法を描いている。共振器１３２４の縦方向モードは複数ピークの曲線１８１０で周波数の関数として示され、曲線１８１０では単純化のために共振の幅が非常に狭く示されている。２つの偏光に対する曲線が重なり合うように、複屈折は補償されているものと仮定する。共振器のＦＳＲ１８１４は曲線１８１０の隣接するピーク間の間隔である。２つの格子１３３０及び１７３０はそれぞれ、曲線１８２０及び１８３０で示されるように複数のピークを有し、複数のピークは各々５つのピークを有する。格子のピークは本質的に等間隔であるが、一方の格子のピーク間隔は他方の格子のそれよりも周波数１８１２だけ大きく、これは図１８ではＦＳＲの２倍に等しい。図１８に示す同調の場合、一対の格子ピーク１８２３と１８３３は周波数が一致する。格子の対を範囲１８４０（７ＦＳＲ）にわたって同調することによって、８つの隣接する縦方向モード１８５２が選択される。ＦＳＲが１つの通信チャンネル間隔に等しく、モード１８１０が前述したようにチャンネルに重なる場合、８つの引き続く通信チャンネルが装置１７００によって選択される。

【０１２０】

一つのスペクトル、例えば１８３０が他方に関して或る量だけ、この場合には１つのＦＳＲだけ同調を外されると、どのモードも重ならず、装置１７００には活動モードはない。２つのスペクトルの周波数は、この条件の下で、いずれのチャンネルをもドロップする又は切り換えることなく同調される。格子１７３０のスペクトル１８３０を２つのＦＳＲの増分だけ同調させて周波数を下げることにより、格子ピークの２番目の対１８２４及び１８３４が一致するようになる。格子ピーク１８３４が１８２４に重なるように調節された開始点に関して２つの格子の同調を範囲１８４０にわたって取ることによって、次の８つの引き続くチャンネル１８５４が選択される。明らかなように、スペクトル１８３０を０、±２ＦＳＲ又は±４ＦＳＲだけ同調させることにより、また、スペクトル１８２０と１８３０の対を一緒に範囲１８４０にわたって同調させることによって、合計で少なくとも５×８＝４０の連続したチャンネル１８５０がアドレスされる。必要な同調は、格子ピーク１８２３と１８３３を所望のチャンネルに重畳させるのに必要な初期同調を含む、約１６ＦＳＲだけである。所定の同調範囲に関してアドレスすることができるチャンネルの数は、追加の格子ピークにより引き起こされるチャンネル摂動の増加という、小さくされることが好ましい犠牲のうえで、この微調整法によって増加されたことになる。

【０１２１】

範囲１８５２から範囲１８５６へのように隣接していない同調範囲間を跳躍することが望ましい場合、１８２４及び１８３４のような中間のモードがどこかで重なるようにされなければならない。中間のチャンネルが例えばデータ伝送のために使用されていてヒットされてはならない場合、例えば縦方向モード１８１０の間の中間の周波数でモード１８２４と１８３４が重なるように、同調が調節される。ピーク１８２４と１８３４の格子スペクトルが狭ければ、共振器１３２４に対する格子の結合は小さくされ得る。

【０１２２】

この手法の数多くの変形が使用可能である。格子ピークが充分に狭い場合、周波数間隔１８１２は２ＦＳＲよりも小さくなり、付加的な格子ピークが使用できる。同調範囲が８つよりも多い（又は少ない）チャンネルを含む場合、同調範囲もまた増減される。不均一な間隔のピークが使用されることもある。更なる代替として、装置１３００又は１７００は、両側の一対の光学スイッチ及びバイパス導波路と組み合わされ、光伝送が格子１３３０の同調期間に装置をバイパスするよう切り換えられる。この光スイッチは、当該技術分野でヒットレス・スイッチとして知られている配列において、光入力を装置を通って又はバイパス導波路に沿って装置を回って光学出力へと送る。

【０１２３】

差動導波路の熱的応答

図１４Ａ及び１４Ｂは、異なる（好ましくは熱－光学）係数で作製された一対の隣接する導波路を含む、図１４Ｃの実施の形態を製作するときの２つの中間の段階である。そのような構造を作製する最初のステップは、基板１４７０へのクラッド層１４４４の堆積と、それに続く、更に屈折率の高いコア層の堆積を含むことが好ましい。前述したように、この構造はシリコン・ウェーハ上でシリカから作製され、コアに対してＧｅドープすることが好ましいが、多くの変形も利用可能である。次いで、コア層はパターニングされ、断面図に見られる対の平行なリッジ構造１４４０を生成する。次いで、上層クラッド層１４４１が施され、エッチング・マスク層１４４３が堆積されて、２つの導波路の一方だけがその所望の長さ部分に沿って現れるようパターニングされる。図１４Ａは、その製造の際のこの段階での半製品を示している。ここで、マスクで覆われていない領域におけるシリカのクラッド層を除去するために、ＲＩＥのようなエッチング・ステップが適用され、その結果として図４Ｂの構造が得られる。層１４４３のマスク材料を除去した後、分厚いポリマー・クラッド層１４４２がスピンオンされ、電極構造１４４５を形成するように導電層を堆積しパターニングする。その結果、図１４Ｃの装置が得られる。オプションとして、追加の電極層又は追加の導波路コア、格子及びその他の構成要素がこの構造の上部、内部又は下部に作製されてもよい。

【０１２４】

例えば格子カップラ１３９２又は１７９４の場合には、格子領域１３３０のような格子を２つのコア領域１４４０間で層１４４１に（又は光学モード１４８２及び１４８１が横切るこの構造の別の部分に）作製することが好ましい。この格子は、層１４４３を堆積する前及び層１４４２を施した後を含む全処理工程の期間の若干の代替の時間に作製される。図１４Ｃから明らかなように、モード１４８２は層１４４２においてモード１４８１よりもはるかに大きな重なり係数を有する。所望であれば、厚さを含む層特性及び導波路設計は、モード１４８１がその実効屈折率の温度依存性を持たないように調節される（そのような条件すべては許容範囲内で満足される）。そのとき、装置１３００及び１７００の好ましい設計で必要とされるように、隣接する導波路のモード１４８２は正味の負の熱的同調可能性を有し、一方、その相方は無熱である。所望であれば、２つの導波路の温度依存性も、負の熱－光学係数の材料１４４２においてモードの重なり係数を更に低減することによって、等しく且つ反対符号で実現される。モード１４８２を無熱にし、モード１４８１に正の熱的係数を持たせる場合を含む他の変形も可能である。

【０１２５】

異なる実施の形態においては、層１４４２は電気－光学的であり、素子１４４５は電場印加電極である。この場合には、印加した場による屈折率変化は２つの導波路１４４０に関

して及び２つのモード１４８１及び１４８２に関して異なる。以前のように、図１１Ｂと同様の電極構成が電気－光学的装置に対しては推奨される。

【０１２６】

図１５は、異なる係数を備えた隣接する導波路対の代替の実施の形態を示している。その製造技術は図１１Ａ及び図１１Ｂを参照して説明した製造技術の変形を含むが、マスキング・ステップ、エッチング・ステップ及び別の堆積ステップが追加される。導波路コアの隣接する対は、例えば図１１Ａを参照して説明したように作製される。クラッド層１５４４及びコア層１５４０が基板１５７０上に堆積される。コア層はパターニングされて図１５に示した対をなす導波路コアを形成し、そしてクラッド層１５４２が堆積される。層１５４２の上にマスク層を適用し、図１４Ａのマスク１４４３を参照して説明したのと同じ方式でパターニングして２つの導波路コアの一方だけをその長さの一部に沿って出現させる。エッチング処理が施されて層１５４２が除去されるが、層１５４２は図１５の右側に示すようにマスクによって露出される。このステップは、シリカ層１５４４又は１５４０が実質的に除去されることなく、層１５４２の全てが除去されて露出されるよう、選択的エッチングであることが好ましい。最終の層１５４６が施されて図１５の構造が生成される。次いで、オプションとして、表面が平坦化される。図１５の場合には、２つの異なるコアを伝搬するモードは、層１５４２及び１５４６に使用される材料の熱的特性が異なるため、異なる熱的係数を有する。例えば、重度に架橋したポリマーが層１５４２に使用され、軽度に架橋した同様のポリマーの層が層１５４６に使用されてその他はすべて等しい場合、（熱的係数が層１５４２及び１５４６によって支配されると仮定して）軽度に架橋した材料１５４６における大きな重なり係数を持つモードほど、強い熱的係数を有する。或いは、動作温度がポリマー１５４２のガラス転移温度Ｔｇよりも充分に低いがポリマー１５４６のＴｇよりも充分に高い場合、Ｔｇより大きい材料１５４６においては大きな重なり係数を持つモードほど、大きな（負の）熱的係数を有する。上記のものの代替として、１５４２のような層自体が光感受性である場合、追加的なマスク層は省略され、１５４２のような層は、所望のパターン構造を形成するよう、露光及び現像によって直接的にパターニングされる。

【０１２７】

ここで述べる発明の実施においては、導波路の屈折率を変えるために液晶材料を使用することができる。例えば、層１５４６、１４４２、８４２、７４２、３４２、又は格子領域内で光学モードが横切る他の層は、当該技術で知られている多くのタイプのうちの１つの液晶材料であってもよい。特に簡便な場合は、ポリマー分散型液晶（ＰＤＬＣ）のそれであって、この液晶は、（例えば電気－光学的結晶に比べて応答時間は比較的遅いけれども）屈折率が印加した電場とともに変化するので、電気－光学材料と考えられる。層１１４２がＰＤＬＣである、図１１Ｂの場合を例に取ることにする。電極１１２２、１１２４及び１１２６は、制御可能な垂直及び水平成分を持つ電場を生じるように設けられる。上層クラッド層（図示せず）もやはり、１１２２及び１１２４のような同じ表面上の電極間の電圧降伏閾値を高めるために使用される。電極１１２２及び１１２４が１１２６とは異なる同じ極性に励振されるとき、導波路の近傍に実質的に垂直な場が生じ、ＰＤＬＣの液晶材料を垂直方向に整列させる。電極１１２２及び１１２４が反対の電位に励振され、１１２６がグラウンド電位であるとき、導波路コアの近傍に実質的に水平な場が生じ、ＰＤＬＣの液晶材料を水平方向に整列させる。ＰＤＬＣの屈折率及び導波路の実効屈折率は、２つの場合において、導波路における（ＴＥ又はＴＭの）偏光の任意の成分に関して実質的に異なる。屈折率は、電極への電位を上記に述べた２つの極端な状態の間で適切に変えることによって、連続的に変化される。格子が導波路の断面に沿ってＰＤＬＣで作製された場合（例えば、光学モード１１８１内のコア材料１１４０において、或いはクラッド材料１１４４、１１４１又は１１４２において）、当該格子の相互作用は、説明したように、場を印加することによって同調することができる。図１１Ａの導波路構造は大きな同調範囲を得るのに使用されることが好ましいが、図１１Ｂの電極構造はＰＤＬＣを同調するのに使用することが好ましいことに留意すべきである。また、ＰＤＬＣのポリマー・マトリ

ックスは、損失を低減するために、動作条件の近くで液晶材料とほぼ屈折率整合するように選択されることが好ましい。

【０１２８】

ＰＤＬＣはこの応用分野に使用するのに便利なタイプの液晶材料である。これは、ＰＤＬＣが閉じこめを必要とせず、液晶滴の閉じこめはＰＤＬＣのポリマーによるものであるからである。しかしながら、ＰＤＬＣは、光学的散乱が比較的大きく、整列した液晶滴及びポリマー・マトリックスの屈折率に左右されるという欠点を有する。より標準的な液晶材料もまた使用され得る。これら後者の材料により、閉じこめ構造が提供されることが好ましい。所望の電場を形成するために、電極１１２０、又は必要であれば電極１１２２及び１１２４が、上部プレート又は追加の層の上に設けられ、又は間隔を置いて配置される。当該技術で知られているように、液晶材料のための配向層及び電極が設けられて液晶材料を活性化する。代替として、電極を導波路に沿って縦方向に配列し、電場を導波路に平行にしてもよい。光学モードのかなりの部分が電極材料を横切るならば、光学的損失を減少させるために、当該技術で知られているように、透明電極を使用することができる。電極の励振は、印加電場の無いときに分子の配向を確立する配向層の構成及び／又は初期電圧に依存して、屈折率を増減するように、液晶材料の屈折率を変化させる。

【０１２９】

ここで説明した無熱の共振器は、同調機能がなくても、自体で有用な機能を提供する。そのような装置については、ヒータ・ストライプは省略され、格子素子は、温度に影響されない周波数選択性の装置を達成するために、無熱の導波路に作製される。例えば、図１、図９及び図１０の装置は、固定周波数レーザ源として使用され、図１３及び図１７の装置は、固定周波数の交叉接続又は固定周波数の検出器又はアッドードロップ装置として使用される。

【０１３０】

他の代替の実施の形態においては、構造のすべての要素が単一の基板上に一体化される。基板がＩｎＰであるならば、レーザ構造は１３１０ｎｍ領域又は１５５０ｎｍ領域で動作することができ、他の基板材料は他の波長を動作可能にする。全ての場合において、ポリマー材料は導波路に沿って光学キャビティの一部に一体化され、動作周波数を決定するために周波数選択構造が使用される。ポリマー構造は無熱の自由スペクトル領域を生じるように同調され、ＦＳＲは通信チャンネル間隔の有理分数に等しくなるように調節され、格子はポリマー区画によって同調される。

【０１３１】

テーパー結合

図３は、テーパーを含むが図５の導波路屈曲のような他の複雑さを無視したハイブリッド一体化カップリング装置の好ましい実施の形態を示している。例えばＨＧ．アンダの米国特許第４，４１５，２２７（１１／１５／８３）に記述されている単純なテーパーは、単一モード導波路を大きく異なるモード次元に結合させるのには不充分となることが多い。導波路の正規化された伝搬定数Ｖ、すなわち

【０１３２】

【数１１】

$$V = k_0 T (n_f^2 - n_s^2)^{1/2} \qquad (11)$$

は、そのモード挙動を決定するのを助ける。ここでk_0は２π／λであり、Ｔは導波路の最小横断寸法にほぼ等しく、n_fはその導波路のコアの屈折率であり、n_sは導波路に隣接する下層の屈折率に近い。例えば導波路の１つが正規化された伝搬定数Ｖ＝２．５で単一モード領域の中央部で動作する場合、２つのアップ・テーパーの係数は複数モード挙動を生じさせ、他方、そのような導波路のダウン・テーパーはモード次元の低減には有効でない。問題は、半導体レーザ・ダイオードにおける小さくて高コントラストの単一モード導波路を、プレーナ型導波路チップにおける大きく且つ低コントラストの単一モード導波路に整合させることである。より簡単に製造された受動的導波路基板上にテーパーを作製することを望ましい。そこで、３導波路の手法が設計され、そこでは、小さな導波路又は大

きな導波路の屈折率間の中間の屈折率を持つ第３の材料が使用され、第３の導波路を動作波長のカットオフよりも下で駆動する極端なテーパが使用される。

【０１３３】

導波路のカットオフは、重要なパラメータ値（例えば波長、幅、実効屈折率など）として定義され、カットオフを過ぎると、モードの横方向閉じこめが失われ、エネルギーが導波路の伝搬軸の横方向にコアから離れるように伝搬する。カットオフの状況は、明確に定義された（さもなければカットオフよりも下の）導波路間でエネルギーが交換される、明確に定義された導波路間の結合とは区別されるべきである。

【０１３４】

ダイオード・レーザ・チップ３１０は、基板３１４の上に作製された導波路区画３２０を含む。レーザ・チップ３１０は１５５２ｎｍのような波長範囲付近で正味の増幅を提供する。ダイオード・レーザ・チップ３１０は波長及び材料系に従って選択される寸法を有しており、１５５０ｎｍレーザの場合には厚さ５００ミクロン、導波路方向の長さ４００ミクロン、幅４００ミクロンである。後部ファセット３１２がレーザ・キャビティの一方の端部を形成する。レーザは光軸３２４に沿ってレーザ光を発する。レーザ・キャビティの他方の端部は、導波路３４０の内側で逆反射格子の位置にある（図１の１３０又は１３２参照）。導波路区画３２０の寸法は一定でないが、典型的には、ｙ方向で０．７ミクロン、ｘ方向で約２．１ミクロンであって、光学モードのサイズはそれぞれ０．５５ミクロン及び１．６５ミクロンである。典型的には、強度の１／ｅ^{2}半幅としてモード・サイズが引用される。モードの全幅はモード・サイズのほぼ２倍であり、ビームの最大値の半値での全幅はモード・サイズの約１．１８倍である。導波路３２０に沿うレーザの伝搬軸３２４は、基板３７０上へのボンディング及び整列に備えて、レーザ基板３１４の上方に垂直距離３２５で固定される。

【０１３５】

レーザは、図３に示すように、ハンダで基板に取り付けられることが好ましい。レーザの下面は接着層３５２、バリヤ層３５４及びキャップ層３５６を備えている。基板３１４がこの図の上部にあるので、図３ではレーザ・チップが上下逆であることに留意すべきである。好ましくは、接着層は０．１ミクロンのＴｉであり、バリヤ層は０．４ミクロンのＰｔ、キャップ層は０．１ミクロンのＡｕである。基板３７０のボンディング面も、同様に接着層３５８、バリヤ層３６０及びキャップ３６２を備え得る。ハンダ層３５０は便宜上、基板のキャップ層上に調製され、約２８０℃の融点を有するＡｕＳｎハンダの数ミクロンで作製される。レーザ導波路はｘ－ｚ平面で整列され、押し下げられて設置される。ハンダは、酸化物の生成を防止してレーザ・チップに接着可能にするよう、ギ酸のような適切なガス中で短時間加熱される。ハンダ層３５０とその他の層の厚さは、ボンディング後にレーザ基板３１４が導波路基板３７０から良好な光学結合をするよう、許容範囲内で所望の垂直の隔たり３２６を有するように制御されることに留意すべきである。レーザ導波路３２０はレーザ製作の工程順序に従ってレーザ基板３１４から固定距離だけ上方にあり、導波路３３０は導波路３３０の製作の工程順序に従って導波路基板３７０から固定距離３３５だけ上方にあるので、ボンディング層３５０、３５２、３５４、３５６、３５８、３６０及び３６２とボンディング工程を制御することにより、２つの基板３１４と３７０間の隔たりを調節及び制御して、導波路３２０及び３３０の相対的な垂直方向位置の調節と制御を行うことができることになる。垂直方向の許容範囲内で、垂直方向の隔たり３２６は、導波路３２０の垂直方向高さ３２５と導波路３３０の垂直方向高さ３３５との合計に等しくなるように調節可能である。

【０１３６】

作製された導波路３４０は、標準の光ファイバへの結合効率、クラッド層に伝搬するモードの割合、及び屈曲を含む構造を通過する伝搬損失を含む他の因子を最適化するように選択された寸法を有する。ここでも、この導波路の寸法は３～１０程度の因数で、これらの因子や屈折率の差のような製造因子に依存して変わり得るが、導波路３４０に関しては市販のシリカ技術が選択され、コアとクラッドとの屈折率差が２％で２ミクロン×２ミクロ

ンの導波路寸法であることが好ましい。

【０１３７】

２つの導波路３２０と３４０の寸法の不均衡は、導波路３２０が直接的に導波路３４０に当接結合されるならば、完全な整列がなされても、高い結合損失（ほぼ４ｄＢ）を生じる結果となる。ハイブリッド型格子レーザにおいては、この損失はキャビティ内であり、閾値を増加させて出力パワーを低減させる。テーパー導波路区域３３０は、結合効率を３ｄＢよりも良好に、好ましくは１ｄＢ又は０．５ｄＢよりも小さくなるように改善するために設けられることが好ましい。導波路３３０は、導波路３２０には当接結合され、導波路３４０とは、テーパー導波路３３０の実効屈折率をカットオフよりも小さくする特定のテーパーで並列結合されることが好ましい。理想的には、導波路３３０の入力端部３３２は、入力片３３０において伝搬する最低次の光学モードの横方向寸法がダイオード・レーザ導波路３２０から出現する最低次の光学モードの横方向寸法と等しいか又は近いように設計される。２つの導波路間の隙間に屈折率整合材料を設けることにより、２つの導波路端部からの光学散乱及びフレネル反射も最小化される。図３は、導波路３３０が導波路３４０上に直接的に作製されることが好ましいことを示しているが、代替の設計では、その下側であってもよいし、追加の層で分離されていてもよい。

【０１３８】

導波路３３０のテーパー部分は、導波路３３０の伝搬定数を導波路３４０のそれに近付け、導波路間でエネルギーが結合できるようにする。テーパーは導波路３３０がカットオフよりも下になるまで続く。レーザ導波路３２０を出て伝搬する光は、テーパー導波路３３０の端部に当接結合され、ダウン・テーパー領域において、平行な導波路３４０に横方向に結合される。導波路３４０において反対方向から戻る光は、導波路３３０の、レーザに向かって伝搬する光に対してはアップ・テーパーとなる同じ部分で横方向に結合して、ダイオード・レーザ・チップの導波路３２０に当接結合される。導波路３４０は屈折率n_2を持つ材料から作製される。周囲の材料は、シリカのn_1に近い又はできれば同じである低い屈折率を有する。導波路３４０の強さΔは、局所的な横方向寸法、（シリカの屈折率と異なる場合には）クラッド層３４２の屈折率及び屈折率の差によって決まる。すなわち、

【０１３９】

【数１２】

$$\Delta_{340}=(n_2-n_3)/n_1 \qquad (12)$$

である。これらのパラメータに依存して、導波路３４０は、実効屈折率n_{eff}を有する最低次の光学モードを導波する。ただし、n_{eff}はほぼ$n_1<n_{eff}<n_2$の範囲に収まる。

【０１４０】

図４は、テーパの作用で生じる屈折率変化を示している。導波路３３０が機能するために、その屈折率n_3はn_2よりも大きい。図４の領域４６０に示したように、導波路３３０の第１の分割部分のn_{eff}４３０は、導波路３４０の第１の分割部分のn_{eff}４４０よりも大きい。テーパーは領域４７０にわたって導波路の強さを低下させ、n_{eff}４３０を低下させてモード形状を変える。このテーパーは局所的横方向寸法及び屈折率差を変えることによって達成可能であるが、製造時に導波路パターンを決めるのに使用するマスクを変えることで導波路の横方向の幅を変える方が容易である。導波路３３０はまだ比較的強いが、図３及び４においてｚ軸に沿った幅T_1の領域において示すように、テーパーは急激であってもよい。しかしながら、テーパーが進むにつれて、導波路３３０のモードは結合領域４５０において導波路３４０のモードと結合し始める。

【０１４１】

結合は導波路３４０の最低次のモードで最も強いが、これは、導波路の実行屈折率が最も近いからである。ｚ方向に制限された領域４５０にわたってエネルギーの交換が生じ、そこでは２つのモードの屈折率が接近し、それぞれの屈折率は虚数部分を取得する。ｚの増加する伝搬方向を見ると、テーパーが進むにつれて２つのモードは相互に更に強く摂動し、結合は強まる。最終的には、導波路３３０のモードは消え（カットオフ以下になる）、

屈折率の虚数部分はゼロに戻り、エネルギーの交換は停止し、導波路３４０の最低次モードの摂動は消える。導波路３３０から導波路３４０への効率的なエネルギー転送を達成するために、モードが結合する期間にはテーパーを緩やかにし、エネルギー交換の完了のために充分な相互作用時間を与えることが望ましい。この理由から、領域T_2は典型的には領域T_1よりも長い。

【０１４２】

特定の導波路及びテーパー設計を選択する際に行うべき多くの選択が存在する。上側及び下側の導波路の材料は、安定で容易に処理可能であり、互換性のあるものが好ましい。材料の組の所与の選択の中でさえ、多くのオプションと若干の自由度とが残る。この応用分野のための好ましいテーパー設計においては、導波路３４０及び下側クラッド層３４４にシリカ（SiO_2）材料系が使用され、ポリマーの上層クラッド層３４２を有するテーパー導波路３３０には酸化タンタラ（Ta_2O_5）のコアが使用される。

【０１４３】

上側の導波路３３０に酸化タンタルを選んだのは、その安定性と低損失と１．５５ミクロンで$n_3=2.03$という高い屈折率の故である。ただし、正確な屈折率は膜を堆積するために使用する工程によって決まることに留意すべきである。テーパーの特性は屈折率に敏感に依存するので、ここで例示した数はすべて$n_3=2.03$に関して算出されており、所与の製造工程について所望の性能を得るために経験的に調節されることが好ましい。導波路３３０の入力端部３３２の垂直方向寸法は、（ｙ方向の寸法で）約０．０８ミクロンに選択されて、ダイオード・レーザの導波モードの垂直方向寸法とほぼ一致する約０．８ミクロンの垂直モード・サイズを持つ非常に弱い垂直導波路を生成することが好ましい。横方向寸法は、約１．６５ミクロンのダイオード・レーザ・モードのサイズに充分に近い約１．３ミクロンの横方向モード・サイズを生じるよう、（ｘ方向で）約２ミクロンであることが好ましい。この導波路の実効屈折率は、モードの全幅が特に垂直方向でのコアの寸法よりも実質的に大きいように、カットオフよりもほんの僅かに大きい、ほぼ$n_{eff}=1.49$であることが好ましい。初期のテーパー長は$T_1=100$ミクロン程度の領域では短く、テーパーの大部分はここで達成されて、特定の設計に依存して、導波路の幅を２又は１０以上の係数で低減させる。この領域での正確なテーパーの長さと量は、光学損失を最小限にしながらモード・サイズ低減量を最適化するように、経験的に調節される（長さT_1を増して光学損失を減少することができる）。テーパーの大部分は、本質的に結合なしであるが、この急峻なテーパー区域で達成されることが好ましい。第２のテーパーは$T_2=500$ミクロン程度のように一層長くてもよく、十分なテーパーが設けられて、モード間の結合を開始し、上側導波路モードをカットオフよりも下に移し、下側導波路の摂動をでカップリングし実質的に低減する。導波路のこの部分を５０％だけテーパー付けすれば充分である。ここでも、この領域のテーパーの正確な長さと量は、モード間のエネルギー転送量を最適化するように、経験的に調節される（長さT_2を増して光学損失を低減することができる）。初期のテーパー付けされていない部分は極めて短くて長さゼロであってもよく、又は複数テーパー区域が設けられてよい。

【０１４４】

好ましいテーパーの設計においては、横方向の導波路幅が距離$T_2=600$ミクロンにわたって２ミクロンから０．７ミクロンへと漸減する単一テーパー（すなわち$T_1=0$）と、０．０８ミクロンの酸化タンタルの厚さとが使用される。マスク幅が約１ミクロンよりも小さくなるにつれ、リソグラフィ解像度及びマスク・アンダーカットのようなファクタが微小形状の再現をますます困難にする。マスクは横方向の寸法においてテーパーを設けるけれども、マスクを再現して導波路幅を規定する処理工程は、０．７ミクロンよりも若干狭い横方向形状と、導波路３３０の小さい端部において一層顕著になる自然な垂直テーパーとを提供する。この理由で、テーパーの機能に与える製造装置の影響が考慮に入れられ、それに応じて寸法が調節されることが好ましい。実際、この事実は、マスク設計に必要とされるよりも低い実効屈折率を導波路の細い端部で実現するように設計において使用される。テーパーの端部では、導波路３３０が急峻に終了される。これは、導波路３３０

がカットオフよりも下であり、コアの領域には極めて少量の光学エネルギーしか残っていないからである。代りに、マスクのテーパーは幅がゼロになるまで続き、リソグラフィ工程が導波路を自然に終了させる。

【０１４５】

図８は、セグメンテーションが導波路の設計に含まれる代替のテーパー設計を示している。基板８７０は、屈折率n_2の導波路コア８４０、屈折率がほぼn_1の上層クラッド層８４２及び屈折率n_1の下層クラッド層８４４を備えている。導波路コア８４０は、少なくとも１つの光学モードを導波するようにクラッド層よりも高い屈折率を有する。分割された導波路８３０は所望の厚さと屈折率n_3で導波路８４０上に作製される。導波路８３０は、不要な材料を除去することによって界面８３２で好ましくは横方向に広いテーパー付けされた幅にパターニングされ、また、領域８３８の材料を除去することによって分割されたパターンにパターニングされる。材料の除去は完全なものとして示されているが、除去は、導波路８４０のコア材料の中まで或る程度拡がっても、又は、不完全であって幾らかの材料が残り、セグメント８３６間を繋ぐ（図示せず）ものでもよい。光学的伝搬軸８３４は、図３に関連して別途考察するように、基板の空き部分８７２に第２のチップを取り付けるのに備えて、基板８７０上の決められた距離８３５にあることに留意すべきである。変形として、導波路８４０は導波路８３０上に作製され、その場合には、セグメント８３６は８４２のクラッド材料中ではなく８４０のコア材料に埋め込まれる。装置８００は、装置３００又は１００又はその他の装置の一部であってもよい。

【０１４６】

図示したように、図８では、高屈折率の導波路８３０は、高屈折率材料が除去された領域（セグメント）８３８が点在する領域８３６から作製される。セグメンテーション周期（領域８３６と光学的伝搬方向に沿って隣接する領域８３８との幅の合計）は、垂直方向及び横方向のレイリー距離、すなわち

【０１４７】

【数１３】

$$z_0 = \pi w_0^2 / \lambda \qquad (13)$$

と同等か又はそれより小さい。ここで、z_0はレイリー距離、w_0は$1/e^2$光学ビーム強度半幅、λはモードの真空光学波長であり、光学モードは、導波路コアが連続的である（分割されない）が領域８３６よりも屈折率が小さいかのように伝搬する。クラッド層８４２との実効屈折率コントラストは、セグメンテーションの局所的デューティ・ファクタ、すなわち

【０１４８】

【数１４】

$$DF_{seg} = (\text{セグメントの局所的長さ}) / (\text{局所的セグメンテーション周期}) \qquad (14)$$

だけ低下する。セグメントと除去された領域とが等しい長さのときに得られる５０％というデューティ・ファクタは、導波路の実効屈折率を約２の係数で低下させる。導波路のパラメータを適切に調節することによって、所望のモード・サイズが分割された導波路で得られるが、追加の自由度、すなわち、デューティ・ファクタとセグメンテーション周期が設計者に利用可能である。例えば、導波路の入力部付近の領域においてデューティ・ファクタが５０％であり、セグメント８３６の作製に使用されるタンタラ膜の厚さが前述の０．１１ミクロンと比べて係数１．４１４だけ増される場合、導波路の強さ並びに垂直及び横方向のモード・サイズは上述したのとほぼ同じになる。

【０１４９】

分割された導波路８３０を作製するのに使用されてテーパーの達成を補助するリソグラフィ・マスク・パターンを変えることによって、デューティ・ファクタを導波路の伝搬軸８３４に沿って低下させることができる。上述した分割されていない導波路に必要とされるテーパーは、導波路の小さい端部で０．７ミクロンの導波路幅を有する。そのような小さな寸法は再現性の良い作製に対する挑戦である。それより大きな最小寸法が好ましい。セ

グメンテーションの使用により、光学モードの実効屈折率の変化の点で、テーパーの同じ光学的効果を得るためには、最小寸法１．０ミクロンが選択される。導波路８３０は横方向に２ミクロンの幅から小さい端部の１ミクロンの幅へとテーパー付けされており、セグメント８３６の長さは１ミクロンで一定に保たれ、デューティ・ファクタは、除去された領域８３８の長さを１ミクロンから小さい端部の４ミクロンへと徐々に増やすことによって、５０％から２５％へと変えられる。なお、セグメンテーションのテーパーの関数形式には多数の変形が可能であり、デューティ・ファクタの線形、指数、双曲線、正弦曲線その他の全ての数学的形式のテーパーを含む多くのものが有用である。周期がレイリー距離と同等又はそれ以下であるという制限に従い続けるならば、一般のセグメンテーション・テーパーは代替の関数形式の周期を持ったテーパーの可能性を含むことに留意すべきである。Ｒ．アダーの米国特許第５，５７７，１４１号（１１／１９／９６）「一体化光導波路のための２次元セグメンテーション・モード・テーパ付け（Ｔｗｏ－ｄｉｍｅｎｓｉｏｎａｌ　ｓｅｇｍｅｎｔａｔｉｏｎ　ｍｏｄｅ　ｔａｐｅｒｉｎｇ　ｆｏｒ　ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ　ｏｐｔｉｃ　ｗａｖｅｇｕｉｄｅｓ）」の刻み目付きの幾何学形状、様々に分割された材料の複数の重畳された層などの、セグメンテーションの幾何学形状において、多数の変形が利用可能である。

【０１５０】

図１、図３、図５、及び図８に示したタンタラの導波路は、酸化ゲルマニウム／シリカのコアの作製の後に所望の厚さのタンタラ膜を堆積させることによって作製されることが好ましい。その後、タンタラ膜は、タンタラ導波路のセグメントの所望の境界を規定するためのマスキング・ステップの後に、ＲＩＥによりパターニングされる。図示しないが、上層クラッド層が堆積された後のタンタラ導波路の堆積を含む幾つかの変形が利用可能である。後者の場合には、タンタラ導波路構造が望まれるどのような場所であろうと、上層クラッド層がパターニングされて酸化ゲルマニウム／シリカのコアの上表面近くまで除去される。次いで、所望の厚さのタンタラの均一な堆積は所望の導波路を生じるのに充分である。

【０１５１】

レンズ化した導波路端部

図７は、２つの異なる導波路間に良好な結合効率を提供することのできる代替の好ましいテーパーの実施の形態を示す。この手法は導波路端部のレンズ化に基づくものである。図７Ａは、導波路コア７４０、上層クラッド層７４２及び下層クラッド層７４４を備えた基板７７０を示す。導波路コア７４０は、少なくとも１つの光学モードを導波するようにクラッド層よりも高い屈折率を有する。既述した導波路のように、主に単一モードを導波するならば、この導波路は単一モード導波路と呼ぶことができる。より高次のモードはカットオフされ（その場合、導波路は厳密に単一モードである）、又は、閉じ込めが弱くて高い損失の若干のモードが弱く導波されるが、その場合には導波路は有効に単一モードであって、単一モードの光ファイバへの結合を含む多くの応用分野に有用である。コア７４０の領域７５２は、表面７３２からわずかに突き出ている。図７Ａでは、この突出部は尖ったエッジを持つように示されているが、これらのエッジは丸められてもよい。

【０１５２】

この突出部は２段階の選択的エッチングを適用することによって作製される。最初に、導波路は、クラッド層とコア層を同じ速度でエッチングする非選択的エッチング処理によって、垂直方向にエッチングされ、コア７４０が表面に現れる領域で上層及び下層クラッド層を露出させる。このステップにおいて、Ａｕ又はＣｒの金属被覆のようなエッチ・バリヤが、半ば処理された製品の表面に堆積される。フォトレジストのパターン化された層が、除去領域の所望のパターン（及び望むならば他のパターン）でエッチ・バリヤの上部に施され、エッチ・バリヤにフォトレジストのパターンを移すようエッチングが行われる。パターニングされたエッチ・バリヤ層により露出されたままのシリカ層をエッチングするために、反応性イオンエッチングが使用される。エッチング時間は、エッチング深さがコア７４０を通過して下層クラッド層７４４に至るのに充分なほど大きいように制御される

ことが好ましい。このエッチングは基板７７０に向かってほぼ垂直下方に進む。このエッチングを達成するのに、多数のプロセス代替形態が存在するが、好ましい方法は２０ｍＴｏｒｒの圧力下で反応性ガスとしてCHF_3を使用するものである。このステージでは、半処理装置の露出表面は平坦である。

【０１５３】

次に、選択的エッチングを表面に実施し、コア７４０に比べてクラッド層７４２及び７４４を優先的にエッチングする。このエッチングを実行するのに好ましい方式は、バッファ処理したＨＦ溶液（ＢＨＦ：フッ化アンモニウムとフッ化水素酸の混合物）で化学的エッチングを実施するものである。当該技術で知られているように、ＢＨＦはシリカを急速にエッチングするが、GeO_2を全くエッチングせず、それによりGeO_2の豊富なコア層７４０は純シリカのクラッド層よりもゆっくりとエッチングされる。この処理によって生じる突出部の正確な形状は、Ｇｅの濃度プロファイルに従う。乾式エッチングを含む他の選択的エッチングの手段もやはり使用可能である。表面７３２からコアの中央部が突出する距離は、エッチング・パラメータ（材料、密度、時間、温度など）によって決まる。導波路７４０に対して使用される上層クラッド層がない、すなわち層７４２が欠落している（図示せず）場合、結果的に生じるレンズ状構造の形状は異なったものとなり、垂直方向に非対称となる。図３の場合のように、ダイオード・レーザ・チップは、レーザ導波路３２０又は１１２の軸が導波路７４０の軸７５４と同軸になるように、基板７７０に対して整列されて（好ましくはフリップチップ・ボンディングによって）取り付けられる。

【０１５４】

単純化のために図７はコアの形状がエッチング処理によって変化しないように示しているけれども、実際は、表面７３２でのコア７４０の領域における突出部７５３の形状は尖った角を有しておらず、ｘ－ｚ平面及びｙ－ｚ平面に沿う面格子線が滑らかに変化する表面形状の印象を与えるように示されている図７Ｂにおけるように、滑らかな曲線で表される。図７Ｂは、ｘ－ｚ及びｙ－ｚ平面において２つの異なる曲率でレンズ状の構造を形成する突出部７５３を示している。これは、表面７３２でのコア７４０の高さ（ｙ寸法）と幅（ｘ寸法）が異なるためである。異なる曲率が望まれるのは、上述したように、異なる典型的なモード・サイズに起因して、ダイオード・レーザ・モードの発散が２つの平面で全く異なるからである。小さい垂直モード・サイズは、強い垂直方向の発散につながるので、ｙ－ｚ平面においては強い曲率が望ましい。弱い（又は無い）水平方向の曲率だけが、水平のビーム発散を補償するのに必要とされる。この相違を調整するために、ほぼ正方形の断面の導波路７４０が、図７Ａでは領域７５０に、図７Ｂでは７５１に示したように広げられる。ｙ－ｚ平面の曲率は選択的エッチング条件によって調節可能であり、一般に、他のすべては同じにしたとき、長めのエッチング時間が大きめの曲率を生じる。曲率は、ダイオード・レーザ・ビームの垂直方向の発散が補償され得るまで調節されることが好ましい。突出部７５３の曲率は表面７３２での導波路の幅とは逆に変化するので、曲率の所望の比率（水平方向に対する垂直方向）は幅の比率（水平方向に対する垂直方向）を調節することにより得ることができる。双曲線状レンズ表面は球面収差を有していないので、モード・プロファイルが表面７３２と交わる軸７５４の近傍の領域で突出部７５３に関して近双曲線プロファイルを得られるように、作製条件が調節されることが好ましい。

【０１５５】

プレーナ型導波路の場合には、領域７４０は、垂直方向の幅に比べて横方向に極めて広く、ｘ－ｚ平面で複数の異なる伝搬軸を支持する。レンズ状構造は、主に垂直方向のｙ－ｚ平面で焦点集束を提供するよう、ｘ軸に沿って並進的に不変である。なお、（突出部を無視すると）表面７３２が導波路７４０のモードの伝搬軸７５４に対して局部的に直角であるように示されていることにも留意すべきである。この場合には、状況の対称性によって、軸７５４での突出部の局部的表面は当該軸に対して直角である。しかしながら、この表面は、ビームを逸らせるために或る角度だけ傾斜され、横方向の焦点集束を提供するために曲げられ、又は異なる目的のために別の形状を取り得る。

【０１５６】

図７Ａにおいて、導波路の長方形部分７５０（又は図７Ｂの７５１）は、光学モードが表面７３２と導波路７４０のほぼ正方形の領域７６０の開始部との間で水平方向寸法を広げる有意な機会を持たないよう、横方向レイリー距離よりも（伝搬の方向に沿った）長さが短く保たれることが好ましい。この条件に従うならば、導波路７５０及び７６０の２つの区域の間でテーパーは不要である。レンズ化した導波路結合領域を使用する際、屈折率整合材料を使用しないことが望ましい。屈折率整合材料の使用はフレネル反射を低減するという利点を有するが、表面７３２の曲率の増大を必要とし、作製時間を不要に増大させ且つ製作許容範囲を厳しくするという望ましくない効果を有する。

【０１５７】

レンズ化された表面７５３を作製するオプションのステップにおいては、その領域は材料７４０、７４４及び７４２の軟化温度に近い温度まで加熱される。軟化温度よりも上であるが融点よりも下では、シリカの表面張力は表面プロファイルを変えることができる。これは表面の熱的スランプと呼ばれる。制御された熱的傾斜をウェーハ又は個別の部品に適用することによって、温度は、突出部の曲率を所望の値まで下げるのに充分な時間、軟化温度よりも高くなる。このステップは、上述した選択的エッチング・ステップにより生じた突出部の空間プロファイルが余りに（図７Ａに示したように）鋭い場合に重要である。熱的スランプの別の望ましい効果は、表面を平滑化して光学的散乱を減少させることである。加熱は単一のチップ、ウェーハ全体又は個々の選択した領域で達成される。ウェーハの規模の処理にオーブンを使用することは可能であるが、個々の領域をスランプ処理することが望ましい場合、突出部７５２又は７５３周囲の領域を加熱するためにレーザが有利に使用できる。CO_2レーザを使用して、表面７３２の方へ向けられ且つその表面近傍の堆積に部分的に吸収される１０ミクロン光学放射のエネルギー・パルスを提供することが好ましい。約０．５～１Ｊ／ｃｍ^{2}の間が数マイクロ秒の期間に主にシリカの導波路材料の上部数ミクロン内でに吸収されるように、光学パルスが印加されるならば、熱的スランプが観察される。もっと長いパルスの場合には、さらに多くのエネルギーが必要であるが、熱拡散深さはほぼ時間の平方根とともに変化するので、数マイクロ秒を超えるパルス継続時間では、必要なエネルギーはパルス長さの平方根で増加する。レーザ・パルスの長さ、エネルギー（及び波長）及びパルス数を制御することで、所望の曲率に近付くよう、スランプの望ましい程度を制御することができる。

【０１５８】

突出部７５３は光学放射を再集束させるのに使用される。光学ビームは導波路７４０に沿って突出部７５３に向かって伝搬する。導波路の外側にあって界面７３２を横切る材料がコア７４０よりも低い屈折率を有するならば、界面７３２を横切る際、ビームは界面７３２の曲率によって収束されて収束特性を獲得する。突出部の高屈折率の中央部分は、モードが界面を横切るときにモードの位相波面を遅らせるので、位相波面を突出部の曲率に関連させ、モードを収束させる。ビームが最小ビーム・サイズの縦方向位置に向かって伝搬し続けると、少なくとも１つのビーム寸法は小さくなり続ける、すなわち収束する。再収束されたビームが良好な結合効率で第２の導波路に入射することができるように、別の導波路がこの位置に近接して整列される。第２の導波路が半導体レーザの能動型導波路である場合、前述の配列は注入固定装置、外部キャビティ共振装置、増幅器装置又はその他の構造の一部であってよい。

【０１５９】

代りに、突出部７５３は、半導体レーザにおけるように、第２の導波路を導波路７４０に効率的に結合させるのに使用される。この場合には、光学ビームはダイオード・レーザの内部で発生され、突出部へと伝搬して発散ビームから再収束され、導波路７４０の軸７５４に沿って伝搬する。ここでも、第２の導波路の端部は、所望の結合効率を達成する許容範囲内で放射ファセットが最小焦点と並ぶように界面７３２に対して整列される。第２の導波路が導波路７４０と同じ基板上に作製されるならば、第２の導波路の端部の整列はリソグラフィで達成される。第２の導波路が半導体ダイオード・レーザである場合には、第２の導波路の端部の整列はダイオード・レーザの基板と基板７７０との間の取り付け工程

の期間に達成される。

【０１６０】

更に代替の好ましい実施の形態においては、突出部７５３の代わりに刻み目が作製される。刻み目を作製するために、クラッド層７４２及び７４４に比べてコア層７４０を優先的にエッチングする選択的エッチング処理が実施される。このエッチングを実施する好ましい方式は、H_2SO_4の水溶液で化学的エッチングを実行するものである。このエッチング剤でのSiO_2のエッチング速度はゼロであり、GeO_2のエッチング速度は中程度であるため、３０℃又は５０℃のような室温よりも上の処理温度が好ましい。GeO_2の豊富なコア層７４０は純シリカのクラッド層よりも急速にエッチングされる。ここでも、この処理により作製される刻み目のプロファイルは、Ｇｅの濃度プロファイルに従う。除去領域には空気があるので、刻み目は、界面を通るモードをデフォーカスさせる。これは幾つかの応用にとっては有用である。除去領域に、導波路コア７４０よりも高い屈折率を有する屈折率整合流体を入れると、刻み目において再収束が得られる。除去領域の屈折率による収束特性の反転に注意を払うならば、突出部を組み込む構造及び突出部の使用の一般的な説明が刻み目にも妥当する。

【０１６１】

温度センサ

図１４Ｃ又は図１５の導波路対は、材料１４４１、１４４２、１５４２又は１５４６が熱－光学的であるとき、温度センサとして使用されるが、電極１４４５は必要ない。平行カップラは２つの導波路の実効屈折率が互いにほぼ等しくなる範囲にわたって導波路間で光学エネルギーを結合させる。屈折率差の温度依存性の故に、結合は限定された温度範囲で生じるだけである。２つの導波路のうちの一方は入力導波路として使用される。導波路が近接している、すなわち互いに充分接近していてモードの横方向モード・プロファイルと２つの導波路のコアとの間で実質的に重なり合うと仮定すると、パワーは他方の導波路へ結合される。

【０１６２】

結合長（カップラの長さと混同しないこと）と呼ばれるカップラに沿う伝搬距離の後に、最大量のパワーが他方の導波路へ転送され、それを越えると、パワーは第一の導波路に再び結合され始める。結合長は、モード・プロファイル及び導波路コアの重なりによって達成される結合強度、及び、２つのモードの実効屈折率の差によって生じる離調に依存する。一方の導波路から他方へ転送されるパワーの最大量は、離調を結合強度で割った比に依存し、低損失導波路に対しては、離調がゼロであるときに１００％に達する。

【０１６３】

温度センサに対しては、平行カップラは、２つの導波路から出て行く同等の又は等しい光学パワーにセットアップされることが好ましい。カップラの長さが結合長の半分に等しいとき、等しいパワーが達成される。２つのパワーを検出するために、一対の検出器が２つの導波路に配置され、２つの電気的検出信号から差／和のような比信号が導出される。カップラの温度が変化すると、２つの導波路の実効屈折率の差は熱－光学係数の差に起因して変化する。したがって、動作温度の変化はカップラの離調を直接的に変化させる。温度の上昇は、動作温度が同期のどちら側にあるかに依存して、同期に向かう又は同期から離れる方向に離調を移動させる。結合曲線の各側に、当該比率が実質的に温度に対して線形である温度範囲が存在する。電気信号はこの線形の範囲でカップラの温度を検知するために使用され、或いは、温度を動作範囲内に維持するように、システムに熱的に結合したヒータを制御するためにフィードバック・システムが設けられる。当該技術で知られているように、比率信号から誤差信号が電子的に導出され、誤差信号をゼロに戻すようにヒータの作動が調節される。

【０１６４】

温度の関数としてのカップラの応答曲線の幅は、結合長に反比例する。パワーの結合は結合幅の中で本質的にゼロから最大値まで変化するので、狭い結合幅は高い熱的感度に対応する。温度に対する高い感度、すなわちカップラ応答の急峻な変化を得るためには、結合

長が増される。例えば、結合長が約１ｍｍから約１０ｍｍまで増大すると、最大値の半値での結合半幅は、屈折率差の温度変化速度ｄΔｎ／ｄＴ＝８×１０$^{-5}$℃$^{-1}$で導波路対に対して約１０℃から約１℃まで下がる。結合定数又はカップラの長さは、所望の温度感度を生じるよう製造時に調節される。線形の範囲は感度と共に変えられる。平行カップラの導波路中心の隔たりを変えることなどによって、結合は装置設計において選択され、或いは、結合は製造段階で導波路の屈折率を修正することで調節される。屈折率は、光学モード間の重なりを増大（又は減少）させるよう、導波路中心間の領域で増大（又は低下）され得る。代りに、同様の効果を達成するように、導波路中心の外側で屈折率を低下（又は増大）させてもよい。上述したように、ＵＶ露光、レーザ・アブレーション、エッチング又は堆積のような方法を応用することにより、屈折率は修正される。ＵＶ又は除去法は、露出されている領域を容易に規定することができ、露光を容易に制御できるので好ましい。

【０１６５】

動作温度における２つの導波路間の実効屈折率差の絶対値も、設計の際に又は製造期間に設定され得る。この量を変えると、カップラの絶対動作温度が変わる。検出システムから特定の信号を利用することのできる所望の温度設定点を達成するために、導波路対の屈折率の差は測定温度で特定の値に設定されなければならない。屈折率の差に対してこの値を達成するためには、ここでも、上記の方法のうちの１つを適用して導波路の一方の屈折率を局部的にひねることが望ましい。充分に厳しい製造許容範囲を容易に達成できない場合、カップラの屈折率の差又は動作温度が測定され、一方の導波路の屈折率を他方と比べて変化させる方法を適用することにより、動作温度又は設定点が許容範囲内に入れられる。

【０１６６】

カップラの長さは、典型的に、導波路対の平行領域の物理的長差に等しい。しかしながら、一方の導波路の一部分を、対の他方との同期が外れるように屈折率を修正してもよい。この場合には、カップラの長さが低減される。したがって、上述のような屈折率修正方法がカップラの長さを変えるのに適用される。ここでも、局部的領域に屈折率変化を適用することが簡単なので、ＵＶ又は除去露光が好ましい。カップラの長さを変えることは、カップラの出力パワーのバランスを調節するのに有用である。

【０１６７】

図１４Ｃの構造もまた、アレー化した導波路格子のような温度同調可能な導波路アレー装置を構成するために使用することができる。基板上に、複数の導波路１４４０を低い結合で充分に隔たてて配列してもよい。次いで、１４４１のような層が個々の導波路上に様々な厚さにパターニングされる。ほんの数回のマスク・ステップで多様な厚さを生成する技術が当該技術に存在する。例えば、等間隔の３２個の選択肢のうちの層の厚さは、一連の５つのマスク及びエッチングのステップを適用して作製される。上記の各々の導波路の厚さは、所望の目的に従って任意に選択される。材料１４４１とのモードの重なりが導波路アレーにわたって直線的に変化するように、厚さの変化が選択される場合、温度変化はアレーに直線的な位相変位を生じさせる。

【０１６８】

アレーにおける直線的な位相変位は、例えばアレー型導波路格子（ＡＷＧ）に有用である。当該技術で知られているように、ＡＷＧは、入力導波路、第１のプレーナ型導波路結合領域、第１のプレーナ型領域から出現して出力導波路に結合された第２のプレーナ型導波路結合領域で終端する曲線状導波路アレーで作製される。出力導波路へ結合される入力導波路の光周波数は、導波路アレーにおける直線的な位相変位を適用することによって変えることができる。ＡＷＧの曲線状の導波路アレーを上述の様々な厚さの熱－光学材料で作製することによって、ＡＷＧの周波数が同調可能にされる。

【０１６９】

以上、特定の実施の形態を参照して本発明を説明してきた。不必要な反復を避けるために、上記の１つの図に関して述べた変形形態はその他の図に単独で又は組み合わされて適用されるものとする。例えば、図１～図８、図１１、図１２、及び図１５に関して述べた変形は、リング状又は直線状のキャビティという特定の変形を除いて図９、図１０に関して

も当てはまり、その逆も成り立つ。増幅器構造及び機能を除いて、これらの図に関して述べた変形は、リング状又は直線状のキャビティのみの変形を除いて図１３及び図１７にも当てはまり、その逆も成り立つ。当業者にとってその他の実施の形態は明白であろう。したがって、本発明の説明の一部を構成する添付の特許請求の範囲に示された事項以外によって本発明が限定されることはない。

【図面の簡単な説明】

【図１】　ハイブリッド型の格子安定化レーザ・チップの実施の形態を示す図である。

【図２】　熱的に安定化された一体型光学チップのパッケージ化された実施の形態の破断図である。

【図３】　テーパー導波路に結合されたレーザ・チップの実施の形態を示す図である。

【図４】　テーパー導波路チップにおける２つの結合された導波路の実効モード屈折率のｚ変化を描いた図である。

【図５】　テーパー導波路アレーに対して角度の付いた界面を備えた曲線状レーザ導波路アレーの概略の上面図である。

【図６】　導波路とＶ溝との間の結合領域の実施の形態を示す図である。

【図７Ａ】　図７Ａは、導波路端部のレンズの実施の形態を示す図である。図７Ｂは、導波路端部のレンズのまた別の実施の形態を示す図である。

【図８】　テーパー導波路カップラのセグメント化された実施の形態を示す図である。

【図９】　リング型ハイブリッド・レーザ・チップの共通方向格子で補助されたカップラの実施の形態を示す図である。

【図１０】　リング共振器型ハイブリッド・レーザ・チップの反射型格子で補助されたカップラの実施の形態を示す図である。

【図１１】　図１１Ａは、単一の上層クラッド層を備えた導波路の実施の形態の横断方向断面図である。図１１Ｂは、二重の上層クラッド層を備えた導波路の実施の形態の横断方向断面図である。

【図１２】　図１２Ａは、動作周波数を調節するために照射を受ける、ハイブリッド型格子で安定化されたレーザの実施の形態の縦方向断面を示す図である。図１２Ｂは、動作周波数を調節するための材料除去部を有する、ハイブリッド型格子で安定化されたレーザの実施の形態の縦方向断面を示す図である。図１２Ｃは、動作周波数を調節するために堆積された材料を有する、ハイブリッド型格子で安定化されたレーザの実施の形態の縦方向断面を示す図である。

【図１３】　同調可能で周波数調節されたリング共振器型交叉接続装置の実施の形態を示す図である。

【図１４】　図１４Ａは、導波路の熱的係数が異なる導波路対の実施の形態の３つの製造段階のうちの１つを示す横断方向断面図である。図１４Ｂは、導波路の熱的係数が異なる導波路対の実施の形態の３つの製造段階のうちの１つを示す横断方向断面図である。図１４Ｃは、導波路の熱的係数が異なる導波路対の実施の形態の３つの製造段階のうちの１つを示す横断方向断面図である。

【図１５】　導波路の熱的係数が異なる代替の導波路対の実施の形態の横断方向断面図である。

【図１６】　共振器の自由スペクトル領域を調節する方法のフロー・チャート図である。

【図１７】　同調可能な周波数選択性交叉接続装置の二重格子の実施の形態を示す図である。

【図１８】　二重格子共振器装置の周波数同調する微調整方法の概略図である。

【図１】

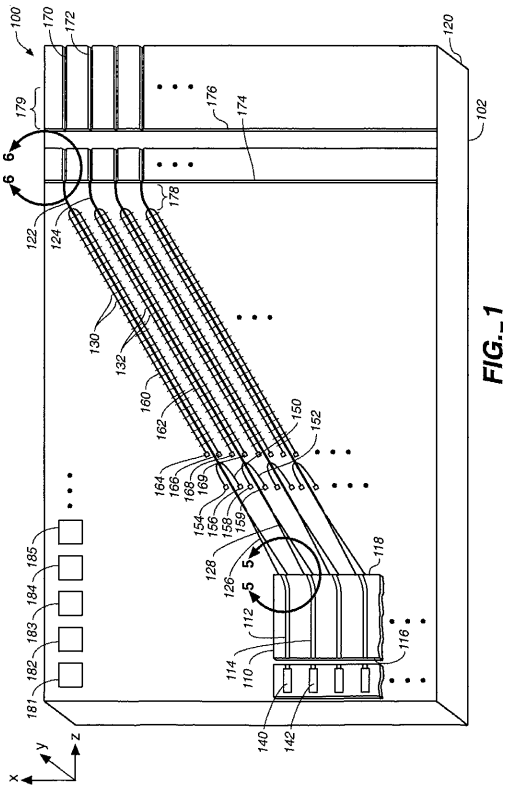


FIG._1

【図２】

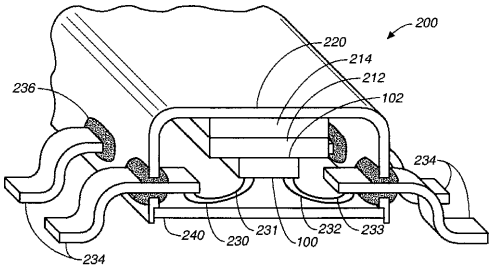


FIG._2

【図３】

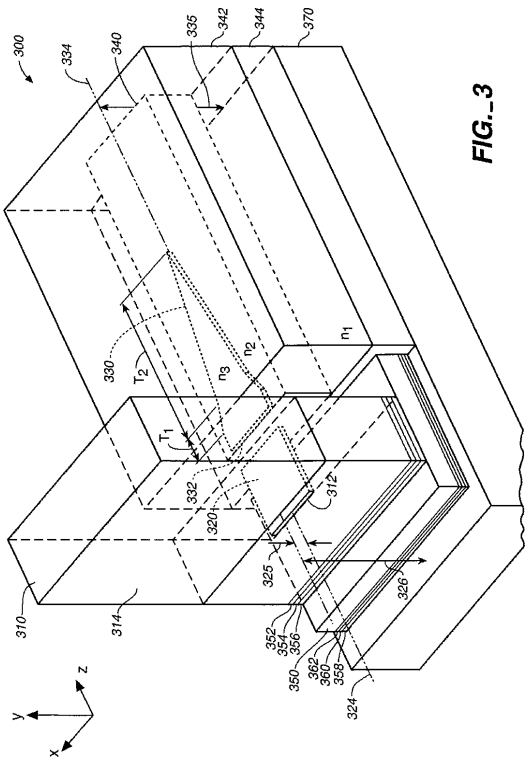
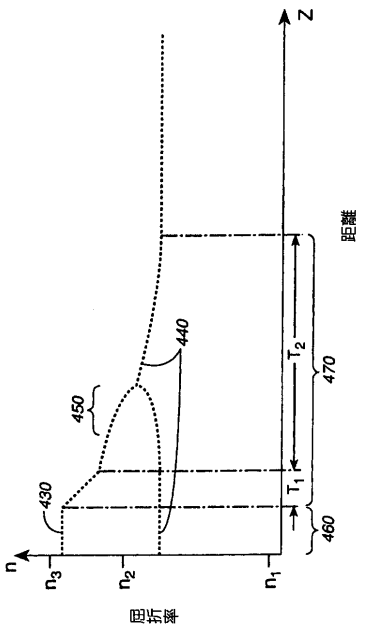


FIG._3

【図４】



【図５】

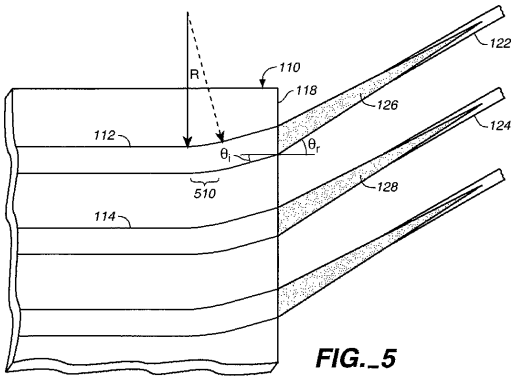


FIG._5

【図６】

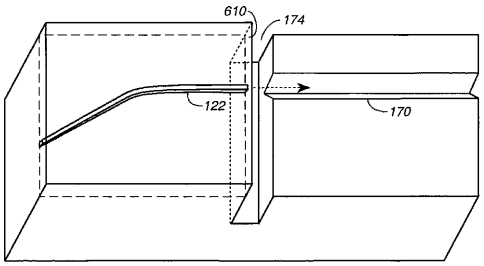


FIG._6

【図７Ａ】

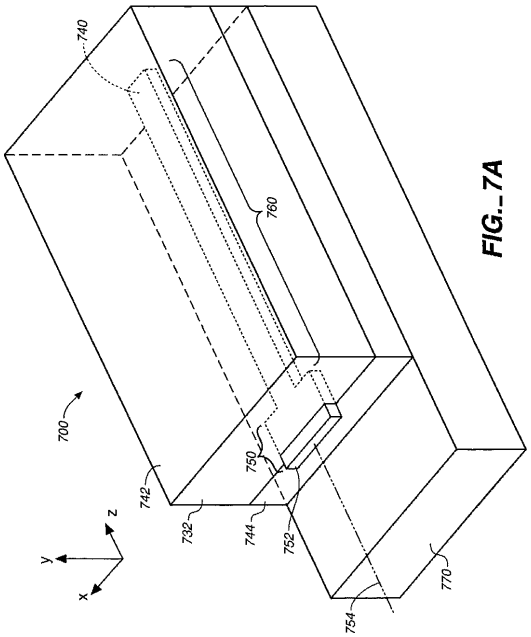


FIG._7A

【図７Ｂ】

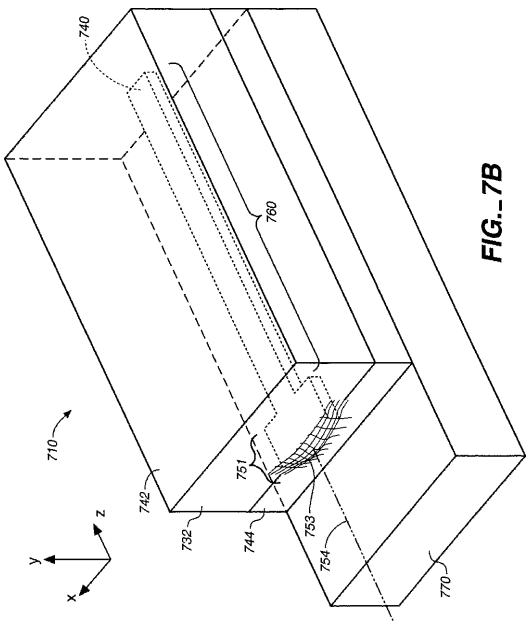


FIG._7B

【図８】

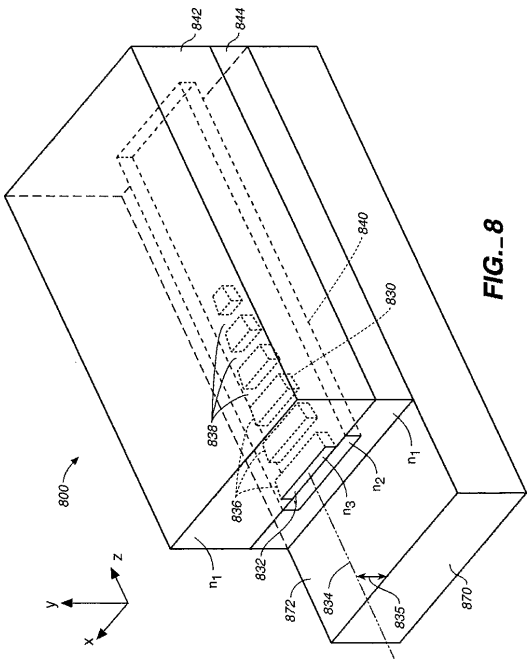


FIG._8

【図９】

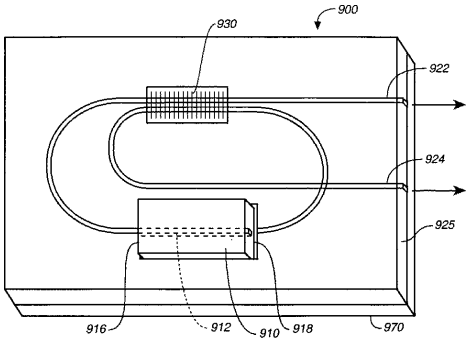


FIG._9

【図１０】

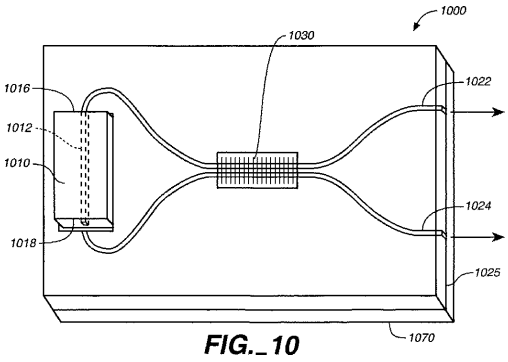


FIG._10

【図１１Ａ】

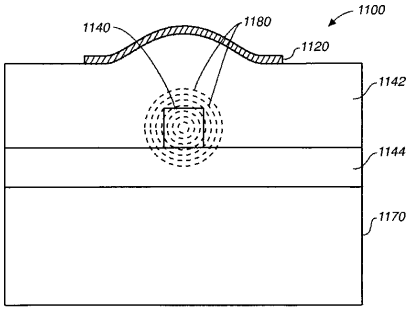


FIG._11A

【図１１Ｂ】

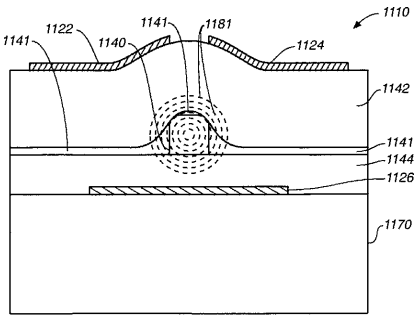


FIG._11B

【図１２Ａ】

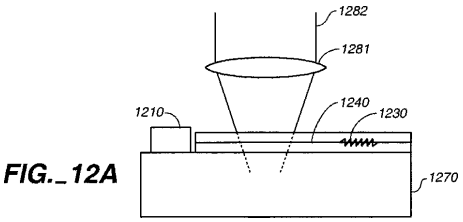


FIG._12A

【図１２Ｂ】

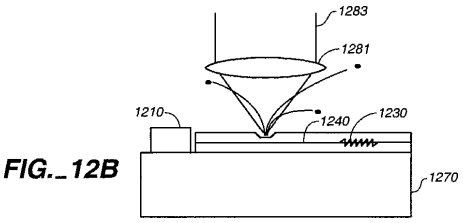


FIG._12B

【図１２Ｃ】

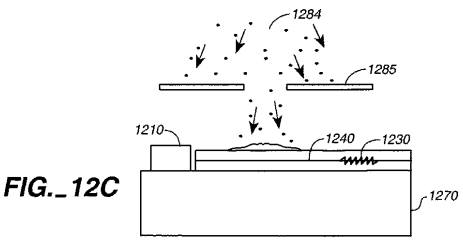


FIG._12C

【図１３】

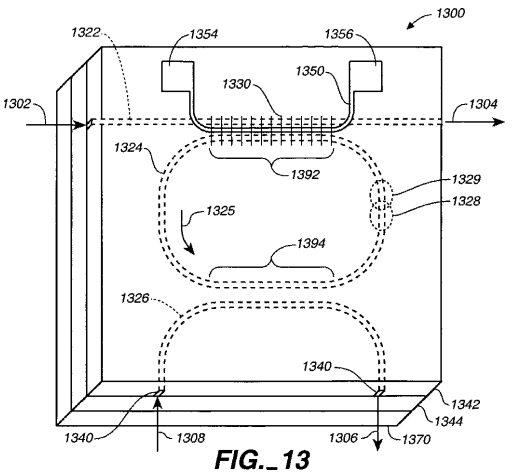


FIG._13

【図１４Ａ】

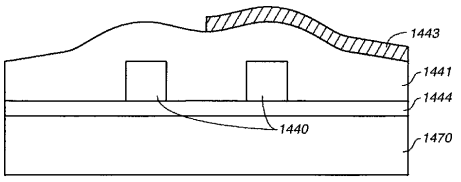


FIG._14A

【図１４Ｂ】

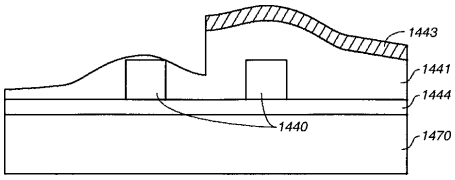


FIG._14B

【図１４Ｃ】

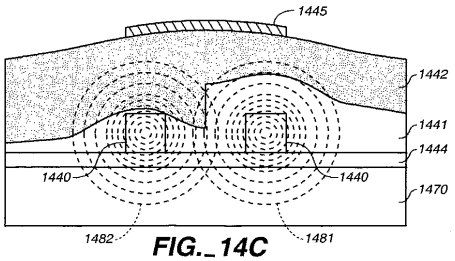


FIG._14C

【図１５】

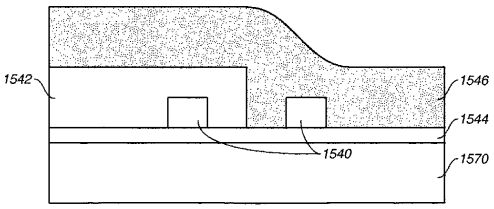
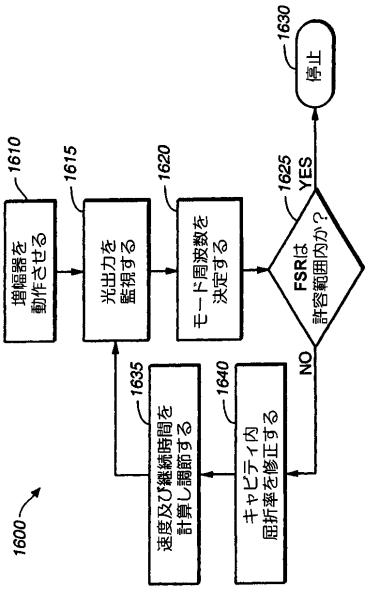


FIG._15

【図１６】



【図１７】

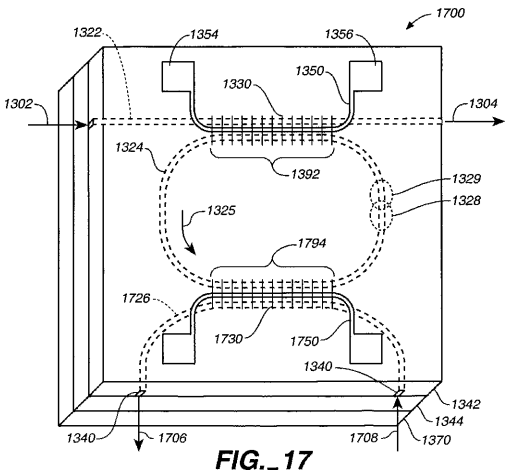


FIG._17

【図１８】

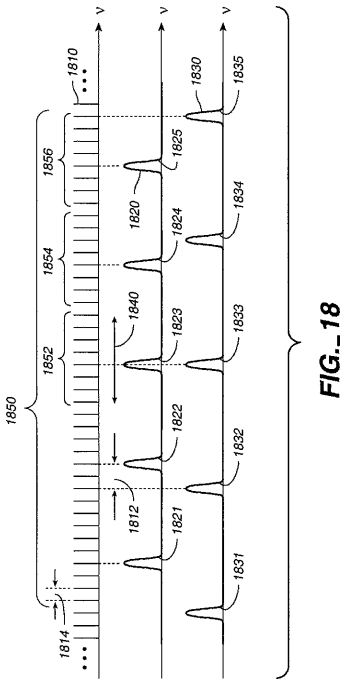


FIG._18

フロントページの続き

(74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫
(72)発明者 ディーコン，デイヴィッド・エイ・ジー
アメリカ合衆国カリフォルニア州９４０２２，ロス・アルトス，サンタ・リタ・アベニュー ８８４

審査官 吉田 英一

(56)参考文献 特開平０４－２８０２１９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１０７５７７（ＪＰ，Ａ）
欧州特許出願公開第０１０１８６６５（ＥＰ，Ａ１）
米国特許第０５８７０４１７（ＵＳ，Ａ）
欧州特許出願公開第００９０３８１８（ＥＰ，Ａ１）
米国特許第０５８５７０３９（ＵＳ，Ａ）
S. L. Woodward, U. Koren, B. I. Miller, M. G. Young, M. A. Newkirk, and C. A. Burrus, A DBR Laser Tunable by Resistive Heating, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, １９９２年１２月, Vol. 4, No. 12, p. 1330 - 1332
Chi Wu, C. Rolland, F. Shepherd, C. Larocque, N. Puetz, K. D. Chik, and J. M. Xu, InGaAsP/InP Vertical Directional Coupler Filter with Optimally Designed Wavelength Tunability, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETERS, １９９３年 ４月, Vol. 4, No. 4, p. 457 - 459

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
G02F 1/01
G02B 6/12