

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4477567号
(P4477567)

(45) 発行日 平成22年6月9日(2010.6.9)

(24) 登録日 平成22年3月19日(2010.3.19)

(51) Int.Cl.		F I	
GO2F	1/313	(2006.01)	GO2F 1/313
GO2F	1/295	(2006.01)	GO2F 1/295
GO2F	1/025	(2006.01)	GO2F 1/025
HO1S	5/14	(2006.01)	HO1S 5/14
HO1S	5/50	(2006.01)	HO1S 5/50 630

請求項の数 4 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2005-304711 (P2005-304711)
 (22) 出願日 平成17年10月19日(2005.10.19)
 (65) 公開番号 特開2006-171706 (P2006-171706A)
 (43) 公開日 平成18年6月29日(2006.6.29)
 審査請求日 平成17年10月19日(2005.10.19)
 (31) 優先権主張番号 10-2004-0105679
 (32) 優先日 平成16年12月14日(2004.12.14)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

前置審査

(73) 特許権者 596180076
 韓国電子通信研究院
 Electronics and Telecommunications Research Institute
 大韓民国大田廣域市儒城區柯亭洞161
 161 Kajong-dong, Yuseong-gu, Taejeon Korea
 (74) 代理人 100077481
 弁理士 谷 義一
 (74) 代理人 100088915
 弁理士 阿部 和夫
 (74) 復代理人 100115624
 弁理士 濱中 淳宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光偏向器を備えた波長可変逆多重化器および波長可変レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

お互い異なる波長の光が導波される入力導波路と、
 第1の有効屈折率を有する周辺領域と、前記第1の有効屈折率とは異なる第2の有効屈折率を持つ所定形状の偏向パターン領域とが境界を成して構成された入力結合器であって、前記境界において前記第1の有効屈折率と前記第2の有効屈折率との屈折率の差に基づき光を屈折することにより、前記入力導波路を介して入力され、前記入力導波路と入力結合器の接続点を出発点として放射状に分散する光を偏向させる入力結合器と、
 前記入力結合器を介して伝達された光が通過するアレイ導波路と、
 前記アレイ導波路から出力された光が結合する出力結合器とを備え、
 前記所定形状の偏向パターン領域の境界を形成する軌跡 $y = f(x)$ は、放射状に分散する光の仮想的な出発点の位置が、前記第2の有効屈折率の変化に伴って、ローランド円上を移動するように設計され、
 前記第2の有効屈折率の変化に応じて前記出力結合器に結合される複数の出力導波路の各々に結像される波長を可変とし、前記アレイ導波路は、隣接する導波路間の光路長が互いに異なる複数の導波路からなることを特徴とする波長可変逆多重化器。

【請求項2】

第1断面および第2断面を両端部に備える光増幅器と、
 前記光増幅器に集積され、前記第1断面から放射されて出射されるビームを凹回折格子に伝達し、凹回折格子から反射されたビームを、前記第1断面より光増幅器に帰還させて

、光反射面である前記第2断面で受けることにより、前記第2断面と凹回折格子との間でビームを共振させる前記光増幅器および前記凹回折格子との間に位置する光偏向器であって、第1有効屈折率を有する周辺領域と、

前記第1有効屈折率とは異なる第2有効屈折率を有する所定の形状の偏向パターン領域とが境界をなし、前記境界において前記第1有効屈折率と前記第2有効屈折率との屈折率の差に基づき光を屈折する光偏向器と、

前記光偏向器に連結され、前記光偏向器から入射したビームの中でも特定の波長のみを前記光増幅器に帰還させる凹回折格子とを備え、

前記光偏向器の前記所定の形状の偏向パターン領域の境界を形成する軌跡 $y = f(x)$ は、前記光増幅器の前記第1断面から放射状に分散する光の仮想的な出発点の位置が、前記第2有効屈折率の変化に伴って、ローランド円上を移動するように設計され、前記第2有効屈折率の変化に伴い、前記光偏向器により偏向された光の凹回折格子への入射角が変わることにより、前記光増幅器に帰還される波長を変化させることを特徴とする波長可変レーザ。

10

【請求項3】

前記光偏向器は、下部クラッド層、上部クラッド層およびコア層を含むことを特徴とする請求項2に記載の波長可変レーザ。

【請求項4】

前記周辺領域と前記所定の形状の偏向パターン領域は、各領域のコア層に印加される電流差によって区分されることを特徴とする請求項3に記載の波長可変レーザ。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長可変逆多重化器および波長可変レーザに関し、より詳しくは、所定の形状の偏向パターン領域と周辺領域は上部クラッド層のドーピング構造の差により境界を成して構成されるが、外部電気信号の調節によって、偏向パターン領域内のコア層の屈折率が変化し、放射状に分散する光を偏向させる光偏向器を備える光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

まず、波長可変逆多重化器について説明する。

30

光通信システムにおいて、様々な波長のビームを一つの位置に集束させる機能（多重化）、任意のビームを波長に応じて特定の位置に分配させる機能（逆多重化）は、WDM（Wavelength Division Multiplexing）を基盤とする光システムでは必須である。

【0003】

このような機能は、現在までいろいろの方法または構造によって素子に実現されたが、代表的なものとして、プリズムの屈折を利用した構造、回折格子（grating）または集積型凹回折格子（integrated concave grating）を用いた構造、配列導波路回折格子（arrayed waveguide grating）を用いた構造を挙げることができる。

40

【0004】

このような構造の中でも、集積型凹回折格子と配列導波路回折格子を用いた構造は、シリカ（Silica）、GaAs、InP、LiTaO₃、ポリマー（Polymer）などの物質基盤に光導波路の形で製作することができ、集積が容易で素子性能が優秀であって多用されている。その簡略な構造は図1に示した。

【0005】

次に、図1を参照して従来の凹回折格子を用いた逆多重化器を説明する。図1は従来の凹回折格子を用いた逆多重化器の概略構成図である。

【0006】

図1では逆多重化器について示したが、2つの素子とも入射ビームと出射ビーム間の相

50

相互作用によって多重化器としても使用可能である。よって、説明の重複を回避するために逆多重化器についてのみ説明する。

【 0 0 0 7 】

図 1 は上述した逆多重化機能を持つ導波路型凹回折格子構造を示している。前記構造において、入力導波路に広帯域の光信号を含むビームを入射させると、ビームは入力導波路 10 を介して A 地点で回折格子 30 へ伝播される。前記伝播ビームは、回折格子 30 で波長別に回折して分配され、分配されたビームは、図 1 のように各出力導波路 20 に波長別に集束される。この際、分配されたビームは常時任意の軌跡上に位置するが、この軌跡をローランド円 (Rowland circle) という。前記凹回折格子の半径 R はローランド円の直径になる。凹回折格子とローランド円とが出会う点をポール (pole) と

10

【 0 0 0 8 】

前記従来 of 構造についての詳細な構造および適用は、特許文献 1 と特許文献 2 に詳細に開示されている。

【 0 0 0 9 】

次に、従来 of 技術による波長可変逆多重化器を説明する。凹回折格子を波長可変逆多重化器として使用する場合、多数の入力導波路を製作してその中の一つだけに、広帯域の光信号を含むビームを入射させる構造を挙げることができる。この場合、入射ビームはローランド円上に位置し、入射ビームの入射角を変化させて回折格子の公式に基づいて波長を可変させる構造である。簡単な例として、前記構造においてある導波路を介してビームを入射させて各出力導波路に $1 \sim n$ のビームが出射された場合、他の導波路を介してビームを入射させると、出力導波路に出射される波長はそれぞれ $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に変わる。

20

【 0 0 1 0 】

この構造は、選択的に入射ビームの位置を調整させて波長を可変させる方式なので、多数の入力導波路が必要であり、波長可変特性が離散的 (discrete) で波長可変量に制限があるという問題点をもっている。

【 0 0 1 1 】

別の構造によれば、入力導波路の代わりに光ファイバにビームを入射させ、光ファイバの位置を移動させて波長可変逆多重化器として動作させる方式がある。この構造は、特許文献 3 に詳細に開示されているもので、光ファイバの位置を連続的に移動させることができるので、連続的な (continuous) 波長可変特性をもつが、光ファイバの空間的移動により構造的に不安定であり、波長可変のための速度が遅いという欠点をもっている。

30

【 0 0 1 2 】

一方、配列導波路回折格子構造を波長可変逆多重化器として活用することもできる。すなわち、多数の入力導波路を利用する構造である。この構造の一点から他の点へ放射ビームの位置を移動すると、入力結合器内の入力口径に結合するビームの位相が変化して出力導波路に出射されるビームの波長が変化する。このような配列導波路回折格子の構造を用いる構造は、凹型回折格子構造と原理上同様なので、波長可変特性が離散的であるという問題により、連続的な波長可変を有する逆多重化器に適用することが難しい。

40

【 0 0 1 3 】

したがって、前記従来 of 波長可変逆多重化器および多重化器の多数の入力導波路を利用する構造は波長可変特性が離散的であって有用ではなく、光ファイバを移動させる構造は光ファイバの移動により構造的に不安定であり、波長可変のための速度も遅いという問題点を抱えている。

【 0 0 1 4 】

次に、波長可変レーザについて説明する。

最近、電子商取引、VOD、画像会議といった新しいマルチメディアの出現とHDTV、LAN、CATVなどといった従来 of データ通信の発達に伴い、情報容量が急増してい

50

る。超高速情報通信網事業者は、莫大なコストと時間がかかる新規の光ファイバを設置する代わりに、既存の光ファイバの帯域幅を極大化するWDM (Wavelength Division Multiplexing) 伝送方式を使用することにより、伝送効率を極大化する方式を採用している

【0015】

上述した光伝送方式の使用に伴って、様々な機能を有する光素子が必要となり、特に波長可変半導体レーザ (tunable wavelength semiconductor laser) は前記通信網で最も応用範囲の広い光源として脚光を浴びている。

【0016】

波長可変レーザは、WDM伝送方式の以前には主に光計測装備用として用いられたが、その以後には波長固定半導体レーザ (fixed wavelength semiconductor laser) の代替用または緊急なバックアップ用として活用されており、ROADM (Reconfigurable Optical Add/drop multiplexer) の光源として緊急に求められている。さらに、電光通信網 (All optical network) のパケットスイッチ (packet switch)、波長変換器 (wavelength conversion)、波長ルータ (Wavelength router) など非常に様々な領域にまで拡大しつつある。

【0017】

波長可変半導体レーザは、現在まで多くの種類が提案されたが、その中でも特に分布ブラッグ反射器型レーザダイオード (distributed Bragg reflector laser diode) と外部共振器型レーザダイオード (external cavity laser diode、以下「ECLD」という) が主に活用されている。ECLD構造は、本発明の構造との比較のために詳細に説明する。

【0018】

ECLDは、半導体レーザと外部回折格子 (external diffraction grating) から構成されており、回折格子の空間的変異 (回転、移動) により回折条件 (diffraction condition) を変化させて連続的な波長可変特性を得ることができる。上述したECLDは、高い光出力 (high output power)、狭い線幅 (narrow linewidth)、広い波長可変特性 (wide tunability) により従来の計測装備に多く活用されているが、半導体レーザと回折格子間の位置合わせの難しさ、波長可変時の回折格子の空間的移動による機械的振動、ピボットポイント (Pivot point) 位置のエージング (aging) による波長移動 (wavelength shift) が問題となり、特に波長可変のための速度が非常に遅いため、光通信システムへの活用には多少無理がある。

【0019】

上述したECLD構造において素子の低い信頼性および遅い波長可変速度を解決するために、電気的な調節により波長を可変させる構造が提案された。

【0020】

非特許文献4では、波長可変のために回折格子を移動させる代わりに、AOM (Acousto-optic modulator) をレーザダイオードと回折格子との間に挿入して外部電気信号の周波数変化によるビーム偏向特性を用いて波長可変を行うことを提案した。ところが、上述した構造において、AOMは体積が大きく、挿入損失が大きいうえ、特に波長可変量が僅か2nm程度と非常に少ない。

【0021】

特許文献1 (発明の名称: 電気信号によって動作する光偏向器およびこれを用いた波長可変型外部共振器) では、半導体レーザダイオード (又は光増幅器)、レンズ、回折格子、反射鏡から構成されているリトマン型外部共振構造の波長可変レーザを提案した。前記構造において、回折格子と反射鏡との間にビームの方向を偏向させる偏向器が介在されており、電流注入により偏向器内媒質の屈折率を変化させ、回折格子から反射鏡へ入射する角度を調節することにより、波長可変が行われる。

10

20

30

40

50

【0022】

非特許文献5では、半導体レーザダイオード内の偏向器がモノリシック集積されて偏向器領域に電流注入による導波ビームの位置変化により回折格子への入射角が変わって波長可変が行われる構造を提案した。上述したような偏向器の挿入または集積が行われた外部共振器型波長可変レーザは、波長可変のための速度が速く、構造的に簡単であるという利点があるが、回折格子とレーザダイオード間の整列が難しく、レンズおよび回折格子による素子の体積が大きいという欠点があった。

【0023】

すなわち、従来の波長可変レーザ構造のECLDは、レーザダイオードと外部回折格子、レンズ、反射鏡間の整列(alignment)が難しく、前記追加光学部品の挿入により素子の体積が大きいという問題点がある。

10

【0024】

【特許文献1】韓国特許第444,176号明細書

【非特許文献1】“Monolithic integrated wavelength demultiplexer based on a waveguide Rowland circle grown in InGaAsP/InP”, IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 16, no. 4, April 1998

【非特許文献2】“Theory and simulation of a concave diffraction grating demultiplexer for coarse WDM systems”, IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 20, no. 4, April 2002

20

【非特許文献3】“Tunable planar concave grating demultiplexer”, IEEE Photonic Technology Letter, vol. 8, no. 4, April 1996

【非特許文献4】M. Kourogiの他4名、“continuous tuning of an electrically tunable external-cavity semiconductor”, Optics Lett., vol. 25, no. 16, pp. 1165-1167, August 2000

30

【非特許文献5】O.K. Kwonの他6名の“proposal of electrically tunable external-cavity laser diode”, IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 16, no. 8, pp. 1804-1806, August 2004

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0025】

そこで、本発明は、このような問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、従来の逆多重化器の製作収率の向上と波長可変フィルタ、ルータなどの様々なWDM用素子の活用のために新しい種類の波長可変逆多重化器を提供することにある。

40

【0026】

本発明の他の目的は、波長可変特性が連続的であり、製作が容易であるうえ、構造的に安定しており、波長可変のための速度が速い波長可変逆多重化器を提供することにある。

【0027】

本発明の別の目的は、波長可変特性が連続的で、製作が容易で、モノリシック集積構造なので位置合わせが容易で、素子の大きさが小さく、構造的に安定しており、波長可変のための速度が速い波長可変逆多重化器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0028】

上記課題を解決するための技術的手段として、本発明の第1側面は、お互い異なる多数

50

の波長を有する多数の光が導波される入力導波路と、入力導波路を介して伝達された光を、放射状に分散する光に偏向させる光偏向器であって、第1の有効屈折率を有する周辺領域と、前記第1の有効屈折率とは異なる第2の有効屈折率を持つ所定形状の偏向パターン領域とが境界を成して構成される光偏向器と、前記偏向された光を波長ごとに分離して反射する回折格子と、前記回折格子を介して回折した光を選択して出力する出力導波路とを含み、前記放射状に分散する光は、第2の有効屈折率に応じて変わる所定の軌跡上の特定点から出発して進む、波長可変逆多重化器を提供する。

【0029】

好ましくは、所定形状の偏向パターンと周辺領域は、上部クラッド層のドーピング構造の差により境界を成して構成されるが、外部電気信号（電流または電圧）に対して、偏向パターン領域内のみならず電気信号が印加されて有効屈折率が変化する構造を提供する。

10

【0030】

本発明を実際に実現する場合においては、前記光偏向器は、下部クラッド層、上部クラッド層およびコア層を有する光導波路で実現でき、前記偏向パターン領域の内部と周辺領域のコア層媒質が同一となるよう、かつ上層部クラッド層のドーピング差のみが異なるように構成することができる。この場合、偏向パターン内の電気信号を印加（または電流注入）しなければ、屈折率は同一となり、電流注入または電圧印加を行えば、偏向パターン内のコア層のみに電流注入（または電圧印加）が行われるので、偏向パターン内の屈折率が変化する。

【0031】

20

本発明の第2側面は、お互い異なる波長の光が導波される入力導波路と、前記入力導波路を介して伝達された光を、放射状に分散する光に偏向させる光偏向器を含み、前記光偏向器は第1の有効屈折率を有する周辺領域と、前記第1の有効屈折率とは異なる第2の有効屈折率を持つ所定形状の偏向パターン領域とが境界を成して構成される入力結合器と、前記入力結合器を介して伝達された光が通過する導波路と、前記導波路から出力された光が結合する出力結合器とを含むが、前記放射状に分散する光は、前記第2の有効屈折率に応じて変わる所定の軌跡上の特定点から出発して進む、波長可変逆多重化器を提供する。

【0032】

本発明の第3側面は、第1断面および第2断面を備える光増幅器と、前記光増幅器に集積され、前記第1断面から放射されて出射されるビームを凹回折格子に伝達し、凹回折格子から反射されたビームを前記第2断面に受ける前記光増幅器および前記回折格子との間に位置する光偏向器であって、第1の有効屈折率を有する周辺領域と、前記第1の有効屈折率とは異なる第2の有効屈折率を有する所定の形状の偏向パターン領域とが境界をなす光偏向器と、前記光偏向器に連結され、前記光偏向器から入射したビームの中でも特定の波長のみを前記光増幅器に帰還させる回折格子とを備えるが、前記回折格子から反射された分散光は、第2の有効屈折率に応じて変わる所定の軌跡上の特定点から出発して進む、波長可変レーザを提供する。

30

【発明の効果】

【0033】

上述したように、本発明は、従来の逆多重化器の製作収率の向上、および波長可変フィルタ、ルータなどの様々なWDM用素子の活用のために、新しい種類の波長可変逆多重化器を提供する。

40

【0034】

また、本発明は、波長可変特性が連続的であり、製作が容易であるうえ、構造的に安定しており、波長可変のための速度が速い波長可変逆多重化器を提供する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施例を詳細に説明する。ところが、これらの実施例は様々な形に変形できるが、本発明の範囲を限定するものではない。これらの実施例は当該技術分野で通常の知識を有する者に発明を十分理解させるために提供され

50

るものである。下記の説明において、ある層が他の層に在ると記載されるとき、これは他の層の真上に存在することもあれば、またはその間に第3の層が介在されることもある。また、図面における各層の厚さまたは大きさは説明の便宜および明確性のために誇張された。

【0036】

(第1実施例の波長可変逆多重化器)

次に、図2を参照して本発明の第1実施例に係る波長可変逆多重化器を詳細に説明する。図2は本発明の第1実施例に係る波長可変逆多重化器の構成図である。

【0037】

波長可変逆多重化器100は、お互い異なる波長の光が導波される入力導波路110と、入力導波路110を介して伝達された光を、放射状に分散する光に偏向させる光偏向器140と、偏向された光を波長別に分離して回折させる回折格子130と、回折格子130を介して回折した光を選択して出力する出力導波路120とを含む。

10

【0038】

光偏向器140は、分散する光を偏向させ、格子極 (grating pole) に入射する入射角を θ から θ' に変える。したがって、回折格子130の公式に基づいて出力導波路120へ回折するビームの波長が λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 から λ'_1 、 λ'_2 、 λ'_3 、 λ'_4 に変わる。

【0039】

一方、偏向ビームの光源がローランド円 (Rowland circle) に沿って動くように設計されており、偏向ビームの光源の位置は連続的にローランド円に沿って仮想的に移動する。

20

【0040】

以下、図2記載の光偏向器140を図3a~図3cを参照して詳細に説明する。図3aを参照すると、光偏向器140は、第1の有効屈折率 n_1 を有する周辺領域141と、他の有効屈折率である第2の有効屈折率 n_2 を持つことにより、境界 $f(x)$ を形成する所定の形状の偏向パターン領域142とからなる。このような光偏向器140によれば、入力導波路110を介して入力された光が放射される時、所定の偏向パターンの境界 $f(x)$ によって特定の一点 (a、b) から出発して進む方向に偏向させられる。一方、第2の有効屈折率 n_2 の変化によって特定の一点 (a、b) の位置は変化する。すなわち、第2の有効屈折率の変化に応じて偏向パターン領域142を通過した光の仮想光源 (a、b) は、限定された区間内に直線や円などの任意の軌跡で示すことができる。したがって、放射状に進む光がローランド円上の特定点から出発して進むように構成することにより、本実施例に係る波長可変逆多重化器を実現することができる。

30

【0041】

各領域における「有効屈折率」は、媒質の屈折率ではなく、導波路の有効屈折率である。有効屈折率は、媒質屈折率とは異なって導波路の固有モード (eigen-mode) であり、導波路の幅、コア層の厚さ、コア層の屈折率が変化すると、有効屈折率も変化する。参考として、入力導波路110の有効屈折率と入力導波路の外側部分の有効屈折率は、積層されている物質が同一であっても導波路の厚さが異なるため、お互い異なる可能性がある。

40

【0042】

所定形状の偏向パターン領域142の境界を形成する軌跡 $y = f(x)$ は、次のような線 - 光 (ray-optics) に基づいた方法によって求めることができる。 $y = f(x)$ 軌跡の x 切片を q とし、任意の放射光 $y = mx$ ($m = \tan(\theta_m)$) と $y = f(x)$ との交差点で $y = f(x)$ 軌跡の接線は傾きが t ($t = \tan(\theta_t)$) であると仮定する。ここで、放射光と軌跡の接線に垂直な法線との角を θ_1 (入射角) とするとき、数式1が成立する。

【0043】

【数 1】

$$-\theta_t = \frac{\pi}{2} - \theta_2 - \theta_m$$

【0044】

ここで、接線の傾き t は負の値を有するので、 θ_t は正の角で示すスカラーであるから、数式 1 が得られた。一方、前記数式 1 の両辺に \tan を取り、左辺をまとめると、数式 2 で表わされる。

【0045】

【数 2】

$$\tan(-\theta_t) = \frac{m \tan(\theta_2) - 1}{m + \tan(\theta_2)} = t = y'$$

10

【0046】

ここで、 $m (= y/x)$ と $\tan(\theta_2)$ は x 、 y の変数であり、 $\tan(-\theta_t)$ は軌跡 $y = f(x)$ の接線の傾き t を示すので、 y の 1 次微分 (y') であり、結局 x に対する 1 次微分方程式で表わされる。一方、図 3 a において、 θ_1 は偏向光の屈折角を示し、偏向光 (点線) は仮想円点 (a 、 b) を通ると仮定すると、数式 3 のように表現することができる。

【0047】

20

【数 3】

$$y = \tan(\theta_m - (\theta_1 - \theta_2))(x - a) + b$$

【0048】

ここで、 θ_1 と θ_2 はスネルの法則 ($n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$) を満足し、 θ_1 を θ_2 で表現してまとめると、数式 4 で表わされる。

【0049】

【数 4】

$$\left[Bn_2 + \sqrt{(n_1^2 - n_2^2) + (n_1/\tan(\theta_2))^2} \right] \tan(\theta_2) - \left[n_2 - B\sqrt{(n_1^2 - n_2^2) + (n_1/\tan(\theta_2))^2} \right] = 0$$

$$B = \frac{m(x-a) - (y-b)}{m(y-b) + (x-a)}$$

30

【0050】

軌跡 $f(x)$ は数式 4 で得られる $\tan(\theta_2)$ を数式 2 に代入し、初期値 (q 、 0) の微分方程式を解けば得ることができる。上述した $f(x)$ を求める方法に対し、数式 4 の $\tan(\theta_1)$ は平方根 (square root) の内と外にあるので、直接 (straight-forward) 解くことが難しく、数式 2 の微分方程式の一般解は x と y が結合しているので、アナリティック解 (analytic solution) で表現することが難しい。したがって、数式 4 は $\tan(\theta_2)$ に対して self-consistent 方法を用いて数値的 (numerical) に解き、数式 2 は Runge-Kutta 法を用いて軌跡を得た。数値解析の具体的な方法は、当業者に一般に知られている方式を使用する。

40

【0051】

一方、半導体光導波路構造では、注入電流により、有料屈折率は増減できる。これは入射光の波長に対するコア層のバンドギャップエネルギーに依存するが、一般に入射光の波長エネルギーに比べてコア層のバンドギャップエネルギーが大きくなるようにコア層の物質組成を使用すると、電流注入によって有効屈折率が減少する。このように使用する理由は、コア層のバンドギャップエネルギーが入射光の波長エネルギーに比べて大きければ大きいほど光損失が少なくなるためである。しかし、光損失が少なくなるほど屈折率の変化

50

も少なくなるので、屈折率の変化量を考慮して適切に設計することが好ましい。

【0052】

したがって、本発明における図3aの軌跡を求めるための数学的モデルは、 $n_1 > n_2$ の場合について示したが、前記条件と逆に $n_1 < n_2$ の場合には軌跡の形態が変わる可能性がある。ところが、解析過程は同一である。

【0053】

一方、上述した数学的モデルにおいて放射光と軌跡との交点での接線の傾き t が陰数の場合についてのみ示したが、陽数の場合にも成立する。この場合、 t に対する m と θ_1 の関係変化(数式1、2の変化)により軌跡の形態は変わる可能性がある。上述した説明に対する $y = f(x)$ の大略的な形態は図3bに示した。

【0054】

また、図3aの解析モデルは、光が左から右に放射する場合についてのみ示したが、右から左に放射する場合についても、軌跡はその形態が異なり、 y 軸に対して対称構造であることを予測することができる。

【0055】

一方、図3cは上述した光偏向器の変形例を説明するための概念図である。図3cを参照すると、この偏向器は、偏向パターン領域142と入力導波路110との間に放射型進行光を生成するために、第3有効屈折率を有する円形パターン領域143をさらに含む。この円形パターン領域143は、原点0から放射する光が、有効屈折率が n_3 と n_2 の境界を有する半円($x^2 + y^2 = r^2$ 、 $x > 0$)を通過するとき、放射光と円の接線は常に垂直なので、入射角が0となって屈折が発生しない。一方、この円形パターン領域143の第3有効屈折率は第1の屈折率と同様に実現することもできる。円形パターン領域143によって放射される光は、有効屈折率 n_3 と n_2 の境界を有する半径 r の円を通過し、この境界を通過するときには屈折現象が起こらない。通過した光はさらに軌跡 $f(x)$ を示す境界を通過しながら屈折する。この際、屈折した光は常に仮想原点(a 、 b)を通過する。

【0056】

すなわち、図3cの光偏向器を図3aの光偏向器と比較すると、図3cの光偏向器の場合は、放射光を形成する目安となる原点が偏向パターン領域143の外部に形成されている。図2はこの場合を例として示している。図3aの光偏向器の場合は、放射光を形成する目安となる原点が偏向パターン領域143の内部または境界線に形成されることにより、図3cの光偏向器の円形パターン領域143が追加されなくてもよい。

【0057】

ローランド上に沿う線 - 光の立場から光偏向器の一例が説明されたが、逆に、波 - 光の立場から一般化されることもできる。したがって、格子の構造に応じて偏向器パターンの模様と個数が変更できる。

【0058】

図3dは本発明の光偏向器の具体例を示した断面図である。図3dは図3cのA-A'に沿った断面図である。図3dはInP系列の物質を用いて実現した一例である。

【0059】

図3dを参照すると、大きくn - 金属層1100、p - 金属型1170、上部クラッド層1130、1140、コア層1120、下部クラッド層1110から構成することができる。識別番号1150は絶縁層を示している。

【0060】

n - 金属層1100は例えばCr - Au層からなり、p - 金属層1170は電気伝導度の向上を目的としてTi - Pt - Au層を構成することができる。InGaAs金属コネクタ層1180は、p - 金属層1170と上部クラッド層1130、1140間の円滑な電気伝導のために高濃度でpドーピングが行われている。InPの上部クラッド層1130、1140は、図3dに示すように、nとpに分離されてドーブされており、pドーフトInPとnドーフトInP間の境界は図3cの偏向パターンの境界である。InP(第

10

20

30

40

50

3～5族)へのpまたはnドーピングのために、例えば第4族(Si、Ge)または第6族の元素をソースとして用いる。

【0061】

この構造において、ドーピングに関係なくクラッド層1110、1130、1140の媒質屈折率は、入射光が $1.55\mu\text{m}$ で全て約3.17である。InGaAsPコア層1120は、ドーピングされておらず、GaとAsの組成追加によりクラッド層1110、1130、1140に比べて媒質の屈折率が相対的に高いため、光はInGaAsPコア層1120に導波される。

【0062】

この構造で電流が注入されていない場合には、導波路の有効屈折率は特定値を持つ。ここでは、有効屈折率を n_1 と仮定する。これに対し、電流が注入される場合、一般的なp-n接合(junction)の順方向バイアス(forward bias)に該当するので、電流は、p-金属層1170、金属コンタクト層1180、上部クラッド層1130、1140、InGaAsPコア層1120、下部クラッド層1110、n-金属層1100へ流れる。

10

【0063】

ここで、上部クラッド層1130、1140内に注入された電流は、pドープトInPとnドープトInP間の電位障壁(potential barrier)により、偏向器パターン内のpドープトInPのみへ流れる。このような構造により、電流は偏向器のパターン内だけに注入され、コア層内の偏向器パターンの媒質屈折率は変わる。したがって、コア層の媒質屈折率の変化により、偏向器パターン内の有効屈折率は n_1 から n_2 に変わる。

20

【0064】

上述した構造では、偏向器パターンを上部クラッド層に形成する代わりに、電極または金属コンタクト層を偏向器パターンで形成する構造が使用できる。ところが、電極または金属コンタクト層を偏向器パターンで形成する場合、電流は上部クラッド層において拡散特性により広がってしまうため、活性層に到達する電流のパターンは偏向器のパターンとは異なるため、図3dの構造に比べて効果的でない可能性がある。一方、図3dの構造は、電極または金属コンタクト層で、偏向器パターンとは関係なくコア層の直上の上部クラッド層に偏向器パターンが形成されており、パターン内だけに電流が流れてコア層に注入されるので、安定した光偏向特性を得ることができる。

30

【0065】

一方、入射光の波長が $1.55\mu\text{m}$ の場合、InGaAsP物質において、電流注入により、一般に媒質の屈折率は最大約0.05程度減少する。ところが、InP/InGaAsP物質において、入射光の波長が異なる場合、あるいはInP/InGaAsP物質の他に半導体の光素子に使用される他の物質(GaAs/AlGaAsやGaAs/InGaAsなど)では、電流注入による屈折率の変化量が異なり、電流注入による屈折率の変化の他に電圧または電気光学(Electro-optic)、音響光学(Accousto-optic)効果によって屈折率が増加または減少する。

【0066】

40

図4は本発明の構造波長可変逆多重化器における回折格子の構造一例を示す図である。前記格子は、chirped grating、blazed grating、TIR(Total Internal Reflection) grating、sinusoidal gratingなど様々に実現できる。

【0067】

図4を参照すると、本回折格子は、CC'線分で周期dを持つ格子構造であり、N番目の回折格子に入射して反射されるビームとN+1番目の回折格子に入射して反射されるビームとの位相差は、回折次数mに対して $2m\pi$ を満足しなければならない。図2の点Aからポール(Pole)地点を結んだ直線とx軸間の内抱角 θ は、回折格子130の入射角になり、回折格子130における入射角に対する回折特性は数式5の回折格子公式に従う

50

。

【 0 0 6 8 】

【 数 5 】

$$m\lambda = nd(\sin \alpha + \sin \beta)$$

【 0 0 6 9 】

ここで、 λ は波長、 n は媒質の屈折率、 α は入射角、 β は m 次の回折角をそれぞれ示す。

。

【 0 0 7 0 】

一方、上述した光偏向器 1 4 0 を介して偏向されたビームは、回折格子 1 3 0 の入射角を変え、数式 1 の回折格子 1 3 0 の公式に基づいて出力導波路 1 2 0 へ回折するビームの波長が変わる。

10

【 0 0 7 1 】

(第 2 実施例の波長可変逆多重化器)

以下、図 5 を参照して本発明の第 2 実施例に係る波長可変逆多重化器について説明する。図 5 は本発明の第 2 実施例に係る配列導波路回折格子の構造を用いた波長可変逆多重化器の構造図である。

【 0 0 7 2 】

第 2 実施例の波長可変逆多重化器は、広帯域の光信号を含む光が分離されて導波される入力導波路 2 1 0 と、入力導波路 2 1 0 を介して伝達された光を、放射状に分散する光に偏向させる光偏向器 2 4 0 とを含む。光偏向器 2 4 0 は、第 1 の有効屈折率を有する周辺領域と、第 1 の有効屈折率とは異なる第 2 の有効屈折率を有する所定形状の偏向パターン領域とが境界を成して構成される入力結合器 2 5 0 と、入力結合器 2 5 0 を介して伝達された光が通過する円形導波路 2 7 0 と、円形導波路 2 7 0 を介して出力された光が結合する出力結合器 2 6 0 とを含む。この構造において、第 2 の有効屈折率の変化により、放射状に分散する光はローランド円上の特定点から出発して進む。

20

【 0 0 7 3 】

この構造において、入力導波路 2 1 0 からビームが放射されて入力結合器 2 5 0 の入力口径でビームが結合し、出力結合器 2 6 0 の出力口径からビームが放射されて出力導波路 2 2 0 の各端子にビームが結合する。このような結合構造において、入力導波路 2 1 0 と出力導波路 2 2 0 は上述した凹回折格子と同様にローランド円上に位置し、ローランド円の直径 R は入力導波路 2 1 0 と出力導波路 2 2 0 との焦点距離 (focal length) になる。

30

【 0 0 7 4 】

逆多重化がなされるためには、円形導波路 2 7 0 における各導波路の長さが、隣接した円形導波路と補強干渉するように設計されるべきである。ここで、円形導波路 2 7 0 は、凹回折格子で回折格子と同一の役割をしているため、前記構造を配列導波路回折格子 (arrayed waveguide grating) と呼び、位相器 (phaser) と呼ぶ。

【 0 0 7 5 】

このような構造で入力結合器 2 5 0 内に形成されている偏向パターンに電気信号を印加すると、放射ビームは偏向し、入力導波路 2 1 0 の位置はローランド円に沿って仮想的に移動する。この際、光偏向器 2 4 0 による入力導波路 2 1 0 の仮想的な位置変化は、入力結合器 2 5 0 内の入力口径で結合したビームの位相差を変化させ、出力導波路 2 2 0 に結像するビームの波長を変える。電気信号により偏向されたビームは、入力結合器 2 5 0 内の入力口径に結合するビームの位相が変わって出力導波路 2 2 0 に結像するビームの波長が変わる。

40

【 0 0 7 6 】

(第 3 実施例の波長可変レーザ)

以下、図 6 を参照して本発明の第 3 実施例に係る波長可変レーザを説明する。図 6 は第

50

3実施例に係る波長可変レーザの概略構成図である。

【0077】

波長可変レーザは、光増幅器 (optical amplifier) 510、光偏向器 (optical deflector) 530、凹回折格子 (concave grating) 520 がモノリシック集積されているモノリシック集積外部共振型波長可変レーザである。

【0078】

光増幅器 510 の一側端面から出力されるビームは、光偏向器 530 を経て凹回折格子 520 に入射する。入射したビームは回折格子 520 から特定の波長のみが光増幅器 510 に帰還する。この構造において、光増幅器の他側端面と凹回折格子はそれぞれ反射面を有するので、共振器から形成されてレーザダイオードとして動作する。

10

【0079】

光偏向器 530 は、第1の有効屈折率 n_1 を有する周辺領域と、第1の有効屈折率 n_1 とは異なる第2の有効屈折率 n_2 を有する所定形状の偏向パターン領域とが境界を成して構成され、外部電気信号によって所定形状の偏向パターンの有効屈折率を変化させて周辺領域と所定形状の偏向パターン領域間の境界面における入射角に対する屈折特性 (スネルの法則) に応じてビームが偏向させられる特性をもっている。

【0080】

図6において、光偏向器 530 は、偏向器内の電気信号増加に伴って光増幅器 510 から放射するビームの点光源 (point source) の位置がローランド円に沿って仮想的に動くように設計される。光偏向器 530 については第1実施例で詳細に説明している。一方、光偏向器 530 を介して屈折したビームは、前記図面の赤色点線のように等価的に表示され、入射角が a から a' に変わる。

20

【0081】

前記入射角の変化に応じて、数式6のリトロー (Littrow) 回折格子公式に基づいて回折するビームの波長が変わる。

【0082】

【数6】

$$m\lambda = 2n_1d \sin \alpha$$

30

【0083】

ここで、 m は回折格子、 λ は波長、 n_1 は導波層の屈折率、 d は回折格子の周期をそれぞれ示す。

【0084】

第1実施例と比較すると、第1実施例では入力導波路の近くに光偏向器が集積されて入射ビームを屈折させることにより、出力導波路に結合する波長を可変させる構造であり、この構造において、波長可変特性はリトマン (Littman) 回折公式に従う。

【0085】

前記構造は、数式6のリトロー (Littrow) 条件によって実現したが、下記数式7のリトマン条件による他の構造にも適用することができる。この場合、図8に示すように、導波路または光増幅器が付加されるべきである。図8において、光増幅器 601 および 602 の左側面が反射面になり、前記2つの反射面に共振が発生する。

40

【0086】

【数7】

$$m\lambda = n_1(\sin \alpha + \sin \beta)$$

【0087】

図7aおよび図7bは第3実施例に係る波長可変レーザの可変特性を詳細に説明するための図である。

【0088】

50

図9 aおよび図9 bは本発明の第4実施例に係る波長可変レーザの可変特性を説明するための図である。

【0089】

図7 aを参照すると、光偏向器530内に電気信号が印加されていない場合のビーム特性を示しており、光増幅器510で光利得が生成されたビームは、 λ_1 の波長で光偏向器520を通過し、光偏向器530のパターンの有効屈折率と周辺領域の有効屈折率とが同一なので、ビーム屈折率は現れなくなる。凹回折格子520に入射したビームは、数式6に基づき、入射角 θ に応じて特定の波長 (λ_1) のみが光増幅器510に帰還する。光増幅器510に帰還した λ_1 波長のビームは、光増幅器510の内部で注入口ロック (injection locking) されると同時に共振 (resonant) され、光増幅器510の左側端面に出射される。

10

【0090】

図7 bを参照すると、光偏向器パターン530に電気信号が印加されてパターン内の導波層の屈折率が n_1 から n_2 に変化した場合のビーム特性を示している。光増幅器から生成されたビームは偏向器パターンを通過し、偏向器内のコア層の屈折率の変化に応じて屈折する。前記屈折したビームの光源は添付図面のように仮想的にローランド円を通過し、屈折したビームの入射角は α 角から等価的に α' 角に変わる。前記変化した入射角により、数式1に基づいて回折ビームの波長は λ_1 から λ_2 に変わる。

【0091】

前記光偏向器パターンの模様はローランド円の構造に合うように線 - 光の観点によって設計されたが、偏向器パターンは格子の構造に応じて変形できる。光偏向器の構造および波長可変レーザの可変特性は、図10に示すように一般化できる。

20

【0092】

図10は偏向器パターンの概略図である。格子に伝播されるビームを考慮しなければ、偏向パターンの大きさは偏向器 d の数の増加に応じて拡張できるように設計される。各パターンは、ビームの光経路によって2つのインターフェースを有し、パターンの一側は導波路と垂直になるように設計される。他のインターフェースの曲線を決定するために、格子によって回折した後、導波路に焦点が集められた光を考慮しなければならない。ここで、2つの隣接する格子要素間の位相差は、照射波長 λ に対する 2 の倍数と同一でなければならない。 P_N (N 番目の要素) および P_0 (極) 点に集中した格子面に反射された光間の N 番目の位相差 $\Delta\Phi_N$ は、下記数式8で表現される。

30

【0093】

【数8】

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_N &= \Phi_{AP_N} - \Phi_{AP_0} \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} \left(n_0 L_N - (n_0 - n_D) \sum_{\alpha=1}^d l_{N\alpha} \right) - \frac{4\pi}{\lambda} \left(n_0 L_0 - (n_0 - n_D) \sum_{\alpha=1}^d l_{0\alpha} \right) \\ &= 2\pi m N \end{aligned}$$

40

【0094】

ここで、 n_D および n_0 は、偏向パターンの内側と外側の有効反射率である。 m は格子順番、 N は極点からの格子要素の数である。前記数式8より、波長可変 λ は下記数式9のように得ることができる。

【0095】

【数9】

$$\Delta\lambda = -\frac{2}{mN} \sum_{\alpha=1}^d (l_{0\alpha} - l_{N\alpha}) \Delta n_D$$

50

【0096】

ここで、 N_D は、光拘束要素に強く依存する格子パターンにおける有効屈折率の変化および導波コア物質の屈折率の変化である。与えられた m に対し、 l_{01-d} および n_{DE} 、インターフェースの曲線は l_{N1-d} に対する l_{N1-d} の軌跡から得ることができる。ところが、格子パターンが2つ以上の場合、数えられない l_{N1-d} の組み合わせがありうる。よって、各格子パターン a に対する波長可変は、下記数式10のように定義できる。

【0097】

【数10】

$$\Delta\lambda_a = -\frac{2}{m\lambda^2} (l_{0a} - l_{2a}) \Delta n_D$$

10

【0098】

ここで、 a の和は l_{N1-d} となる。偏向パターンへの電流の注入により、屈折率においてキャリア-誘導(carrier-induced)変化 n_D は減少する。

【0099】

前記従来の波長可変逆多重化器の構造は、多数の入力導波路を備えるか、あるいは入力導波路の代わりに光ファイバを移動させて波長可変特性を実現したが、波長可変特性がそれぞれ離散的であり、波長可変のための速度が遅いという欠点を持っている。本発明の構造は、波長可変特性が連続的であり、波長可変のための速度が速く、電氣的に波長可変をさせるので構造的に安定している。前述した本発明の構造は、従来の逆多重化器の製作の際に発生する工程上の誤差を補正して製作収率を高めると同時に、波長可変フィルタまたはルーターとして活用することができるので、活用価値は非常に高い。

20

【0100】

上述した本発明の波長可変逆多重化器は、連続的な波長可変特性により、従来の逆多重化器の製作の際に発生する工程上の誤差を補正して製作収率を高めると同時に、波長可変フィルタまたはルーターとして活用することができるので、活用価値は非常に高い。

【0101】

また、本発明の構造は、電氣的に波長可変させるので、構造的に安定的であり、波長可変のための速度が非常に速い特徴をもっている。

30

【0102】

本発明の波長可変レーザを用いると、光偏向器内の電気信号印加量に応じて凹回折格子への入射角が連続的に変わるため、波長可変特性が連続的であり、光増幅器(SOA)、光偏向器、凹回折格子が単一基板上に製作できるため、追加的な整列が必要なく、従来のECD構造に比べて素子の大きさが非常に小さい。

【0103】

一方、位相制御部は、光増幅器と光偏向器との間に介在できる。前記位相制御部は、格子から光増幅器に入射するビームと、光増幅器から放出されたビーム間の位相を整合(matching)させる役割を行う。したがって、装置が特定波長を照射するにつれて、波長は位相条件の変動によるチャンネルPC電流(I_{PC})によって微細に調整される。

40

【0104】

また、図11に示した構造は、広い可変波長領域を獲得することが可能な構造に拡張できる。図11には、例えば8-チャンネル構造が示されている。電流 I_{SOA} をSOAチャンネルに注入するとき、光照射は格子からチャンネルに向かう後光のリトロウ(Littrow)条件に対応する波長で発生した。他のチャンネルは、格子に対するそれぞれの位置によって異なる波長で光が照射された。したがって、可変波長範囲は、チャンネル数が増加するほど倍加される($\Delta\lambda_T$ (総可変波長範囲) = N (チャンネル数) × $\Delta\lambda_I$ (個別波長範囲))、そして光合成器701と光増幅器702が出力ステージに挿入され、図12に示すように一つのポートを介して出力を得ることができ、光増幅器702によって出力を向上させることができる。

50

【 0 1 0 5 】

また、図 1 1 の構造は、リトロー (L i t t r o w) 構造に局限されるが、上述した構造の他にも、図 1 3 のように出力ステージに位相制御部 8 0 1 および光増幅器 8 0 2 が挿入された形のリトマン (L i t t m a n) 構造に変形できる。

【 0 1 0 6 】

以上、本発明の好適な実施例を挙げて詳細に説明したが、本発明は、これら実施例に限定されるのではなく、本発明の技術的思想の範囲内で、当該分野で通常の知識を有する者によって様々な変形が可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 0 7 】

【 図 1 】 従来の凹回折格子を用いた逆多重化器の概略構成図である。

【 図 2 】 本発明の第 1 実施例に係る波長可変逆多重化器の構成図である。

【 図 3 a 】 図 2 の光偏向器を説明するための図である。

【 図 3 b 】 図 2 の光偏向器を説明するための図である。

【 図 3 c 】 図 2 の光偏向器を説明するための図である。

【 図 3 d 】 図 2 の光偏向器を説明するための図である。

【 図 4 】 本発明の構造波長可変逆多重化器における回折格子の構造一例を示す図である。

【 図 5 】 本発明の第 2 実施例に係る配列導波路回折格子構造を用いた波長可変逆多重化器の構成図である。

【 図 6 】 本発明の第 3 実施例に係る波長可変多重化器の概略構成図である。

【 図 7 a 】 本発明の第 3 実施例に係る波長可変レーザの可変特性を説明するための構成図である。

【 図 7 b 】 本発明の第 3 実施例に係る波長可変レーザの可変特性を説明するための構成図である。

【 図 8 】 導波路または光増幅器が付加された波長可変レーザの構成図である。

【 図 9 a 】 本発明の第 4 実施例に係る波長可変レーザの可変特性を説明するために示す図である。

【 図 9 b 】 本発明の第 4 実施例に係る波長可変レーザの可変特性を説明するために示す図である。

【 図 1 0 】 D E パターンの概略図である。

【 図 1 1 】 8 - チャネル構造を有する波長可変レーザの構成図である。

【 図 1 2 】 光結合器および光増幅器が挿入された波長可変レーザの構成図である。

【 図 1 3 】 位相制御部および光増幅器が挿入された波長可変レーザの構成図である。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 8 】

1 0 0 波長可変逆多重化器

1 1 0 入力導波路

1 2 0 出力導波路

1 3 0 回折格子

1 4 0 光偏向器

1 4 1 周辺領域

1 4 2 偏向パターン領域

1 4 3 円形パターン領域

1 1 0 0 n 金属層

1 1 1 0 下部クラッド層

1 1 2 0 コア層

1 1 3 0 上部クラッド層

1 1 4 0 上部クラッド層

1 1 7 0 p 金属層

2 1 0 入力導波路

10

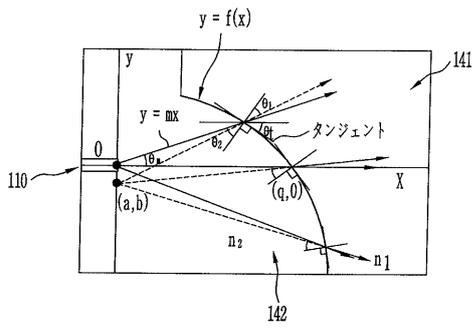
20

30

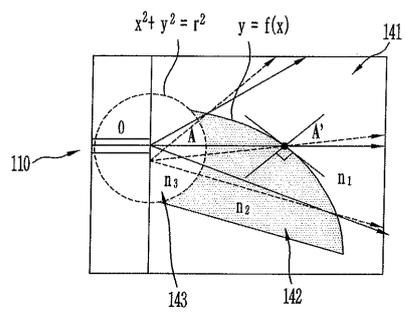
40

50

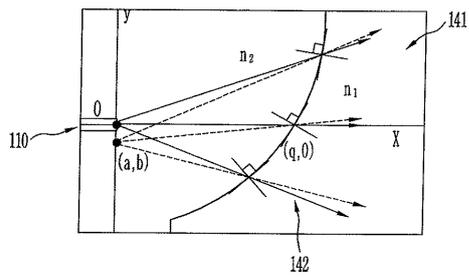
【図3a】



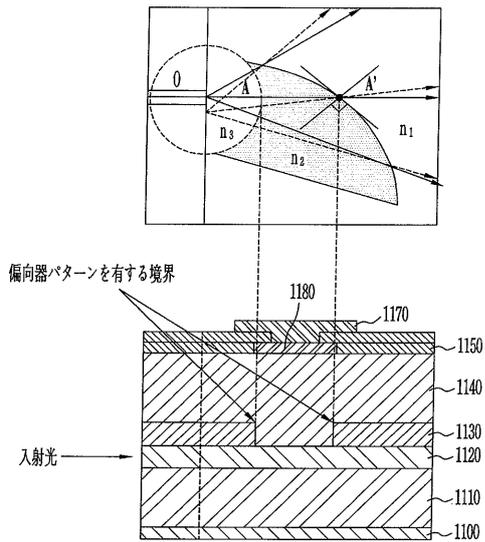
【図3c】



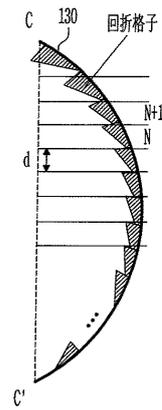
【図3b】



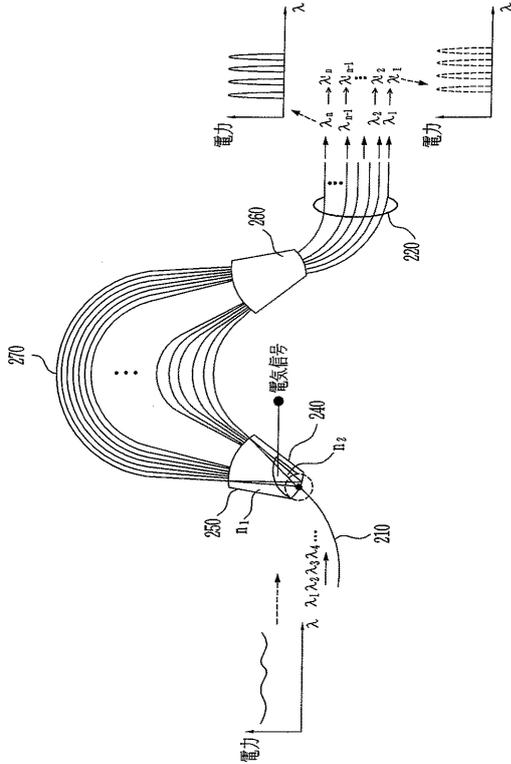
【図3d】



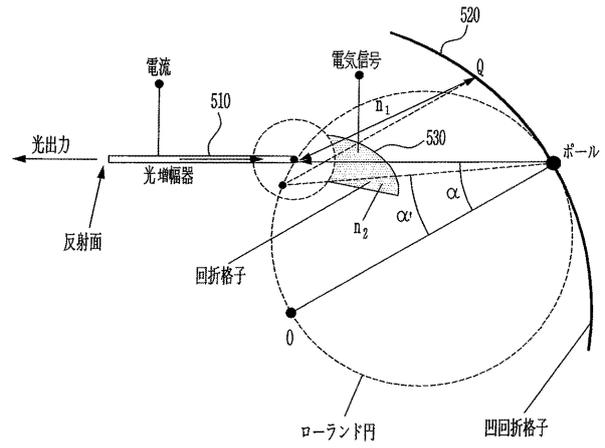
【図4】



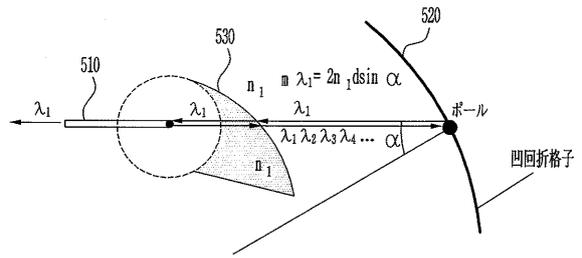
【図5】



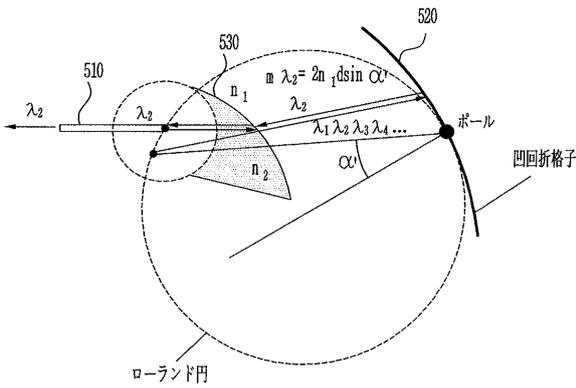
【図6】



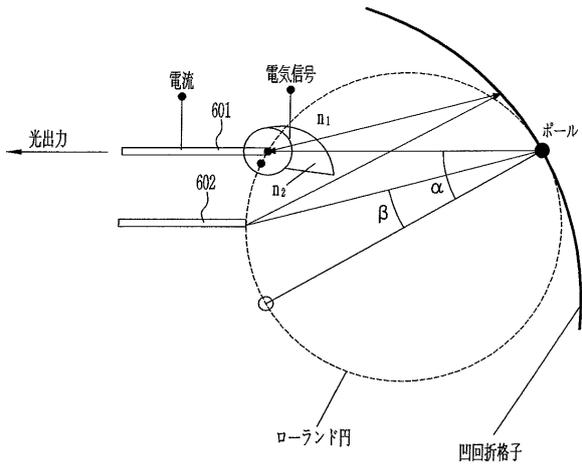
【図7a】



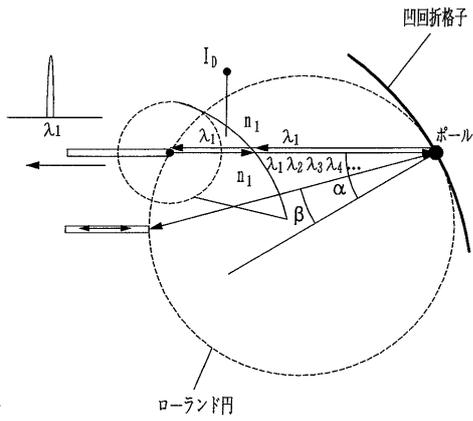
【図7b】



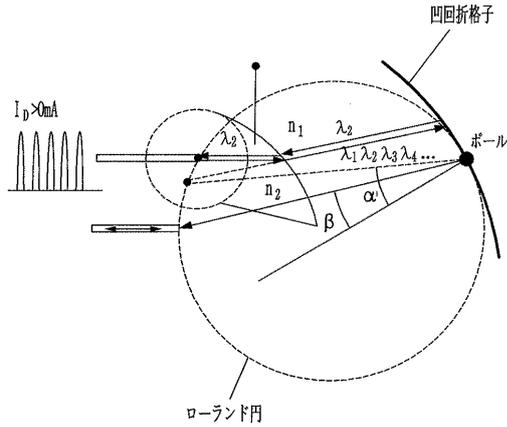
【図8】



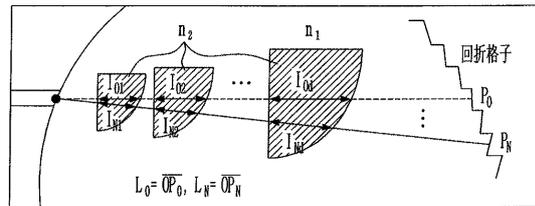
【図 9 a】



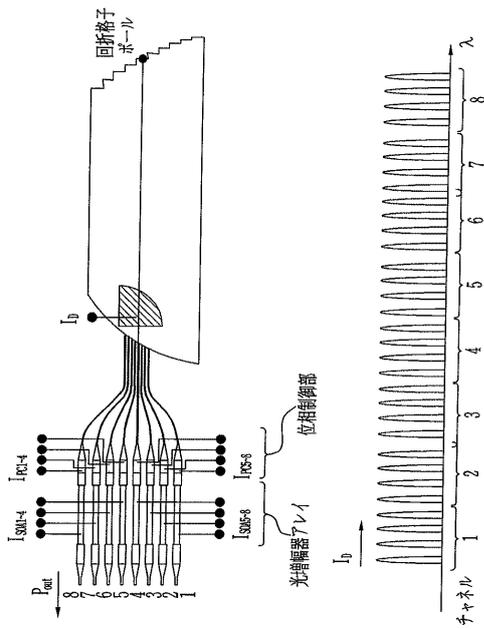
【図 9 b】



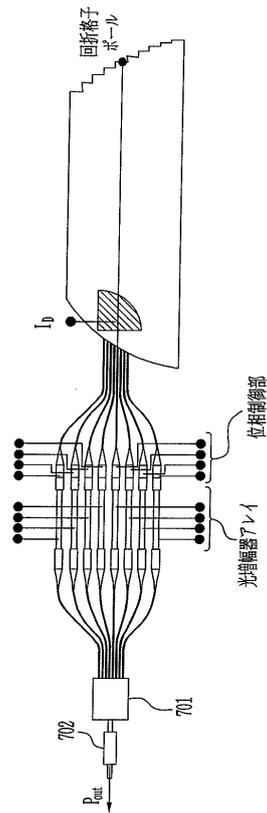
【図 10】



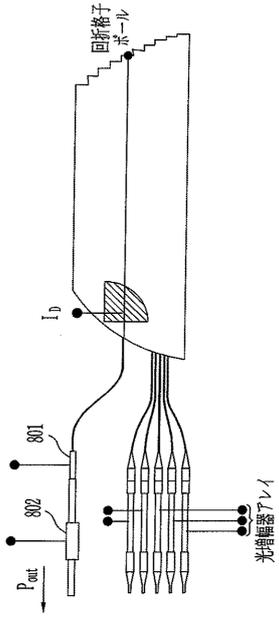
【図 11】



【図 12】



【図13】



フロントページの続き

(74)復代理人 100142044

弁理士 渡邊 直幸

(72)発明者 クォン オウ キ

大韓民国 テジョン ユソング ソンガンドン(番地なし) ソンガン グリーン アパートメン
ト 317-1304

(72)発明者 キム カン ホ

大韓民国 テジョン ユソング ソンガンドン(番地なし) ソンガン グリーン アパートメン
ト 306-102

(72)発明者 キム ジョン ホイ

大韓民国 テジョン ユソング ガンドン 458-7 ダックウォン ビラ 304

(72)発明者 キム ヒュン スー

大韓民国 テジョン ソグ ドゥンサン 2ドン 970 ヤンチョン アpartment 112
- 803

(72)発明者 オウ クワン リョン

大韓民国 テジョン ユソング シンスンドン 149-4

審査官 高 芳徳

(56)参考文献 特開平07-058392(JP,A)

特開平09-092933(JP,A)

特開2003-198056(JP,A)

特開平10-260326(JP,A)

米国特許出願公開第2003/0091265(US,A1)

特開平05-165070(JP,A)

特開平11-258435(JP,A)

特表平8-501187(JP,A)

Oh Kee Kwon et al., IEEE Photonics Technology Letters, 2004年 8月, Vol.16, No.8,
pp.1804-1806Kang Ho Kim et al., Japanese Journal of Applied Physics, 2004年 4月15日, Vol.4
3, No.4B, pp.L543-L544

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/00 - 7/00

H01S 3/00 - 5/50

G02B 6/12 - 6/43

JSTPlus(JDreamII)

JST7580(JDreamII)