

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7468102号
(P7468102)

(45)発行日 令和6年4月16日(2024.4.16)

(24)登録日 令和6年4月8日(2024.4.8)

(51)国際特許分類 F I
 G 0 2 B 6/12 (2006.01) G 0 2 B 6/12 3 1 1
 G 0 2 B 6/122(2006.01) G 0 2 B 6/122 3 1 1

請求項の数 6 (全20頁)

(21)出願番号	特願2020-72612(P2020-72612)	(73)特許権者	309015134 富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22)出願日	令和2年4月15日(2020.4.15)	(74)代理人	110004185 インフォート弁理士法人
(65)公開番号	特開2021-170057(P2021-170057A)	(74)代理人	100121083 弁理士 青木 宏義
(43)公開日	令和3年10月28日(2021.10.28)	(74)代理人	100138391 弁理士 天田 昌行
審査請求日	令和4年12月28日(2022.12.28)	(74)代理人	100074099 弁理士 大菅 義之
		(72)発明者	岡 徹 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光導波路素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

スロット導波路と矩形導波路との間に設けられる光導波路素子であって、
 テーパ部と、
 前記テーパ部と前記矩形導波路との間に設けられる離間部と、を備え、
 前記テーパ部は、
 前記スロット導波路の一方のコアと結合する第1のコアと、
 前記スロット導波路の他方のコアと結合し、前記第1のコアに平行に形成された第2
 のコアと、を備え、
 前記離間部は、
 前記第1のコアおよび前記矩形導波路に結合する第3のコアと、
 前記第2のコアに結合する第4のコアと、を備え、
 前記スロット導波路が設けられる側の前記テーパ部の端部である第1の端部において、
 前記第1のコアの断面積および前記第2のコアの断面積は互いに実質的に同じであり、
 前記離間部が設けられる側の前記テーパ部の端部である第2の端部において、前記第1
 のコアの断面積は前記第2のコアの断面積より大きく、
 前記テーパ部において、前記第1のコアの断面の形状は、前記第1の端部と前記第2の
 端部との間で連続的に変化し、
 前記離間部において、前記第3のコアと前記第4のコアとの間隔が連続的に広がって
 いくように、前記第4のコアが曲線導波路で形成されている

ことを特徴とする光導波路素子。

【請求項 2】

前記第 4 のコアの先端に光終端器をさらに備える
ことを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路素子。

【請求項 3】

前記スロット導波路の一方のコアと前記第 1 の端部における前記第 1 のコアとの間で幅が連続的に変化する導波路、及び、前記スロット導波路の他方のコアと前記第 1 の端部における前記第 2 のコアとの間で幅が連続的に変化する導波路を更に備える
ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光導波路素子。

【請求項 4】

前記テーパ部が設けられていない側の前記離間部の端部における前記第 3 のコアと前記矩形導波路との間で幅が連続的に変化する導波路を更に備える
ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の光導波路素子。

【請求項 5】

前記第 1 ~ 第 2 のコアの断面の形状はそれぞれ矩形であり、
前記第 1 の端部の近傍かつ前記第 1 ~ 第 2 のコアの周辺の領域に、前記第 1 ~ 第 2 のコアと同じ材料で前記第 1 ~ 第 2 のコアの高さより低いスラブを備える
ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の光導波路素子。

【請求項 6】

前記スロット導波路のコアにはキャリアがドーピングされている
ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の光導波路素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光導波路素子に係わる。

【背景技術】

【0002】

近年、シリコンフォトニクス技術により、小型化および/または高密度集積が可能な光集積素子の開発が進められている。シリコンフォトニクス技術においては、例えば、SOI (Silicon-On-Insulator) ウエハの表面領域に光導波路が形成される。この場合、図 1 に示すように、コアは、例えば Si で形成され、クラッドは、例えば SiO₂ 等で形成される。

【0003】

光導波路は、例えば、基板上で光信号を伝搬する光配線として使用される。この場合、コアの断面の形状は、例えば、図 1 (a) に示すように矩形である。よって、以下の記載では、一般的な光導波路を矩形導波路と呼ぶことがある。

【0004】

他方、図 1 (b) に示すように、並列に形成された 1 組のコアを含む光導波路を用いた光デバイス (例えば、光変調器) の開発が進められている。なお、以下の記載では、並列に形成された 1 組のコアを含む光導波路を「スロット導波路」と呼ぶことがある。

【0005】

例えば、スロット導波路を構成する 2 つのコアの間、印加電圧に応じて屈折率が変化するポリマーが塗布される。そして、送信データを表す電圧信号を光導波路に印加することで、データを伝送する変調光信号が生成される。ここで、スロット導波路においては、2 つのコアに挟まれた領域に光電界が集中する。このため、スロット導波路を用いた光変調器においては、電界と光との相互作用の効率が高くなる。なお、スロット導波路を用いた光変調器は、例えば、非特許文献 1 に記載されている。

【0006】

ただし、スロット導波路で曲げ半径の小さい光配線を形成すると、光損失が大きくなる
ことがある。これに対して、矩形導波路においては、光電界がコアの内部に集中する。よ

10

20

30

40

50

って、矩形導波路で光配線を形成すれば、曲げ半径が小さい場合であっても、光がコアの外部に漏れることで生じる光損失が小さい。すなわち、光集積素子の小型化を実現するためには、矩形導波路で光配線を形成することが好ましい。

【0007】

このように、小型で効率の高い光変調器を含む光集積素子を構成する場合、基板上に矩形導波路およびスロット導波路が混在することがある。そして、このような光集積素子は、矩形導波路とスロット導波路とを結合する素子（即ち、矩形導波路とスロット導波路との間で導波路の構造を変換する素子）が必要である。なお、矩形導波路とスロット導波路との間で導波路の構造を変換するコンバータは、例えば、非特許文献2に記載されている。また、本件出願に関連する技術が特許文献1～4に記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開2016-042115号公報

【文献】米国特許第9835798号

【文献】特開2007-148290号公報

【文献】米国特許第7546014号

【非特許文献】

【0009】

【文献】R. Palmer, et al., "Silicon-Organic Hybrid Electro-Optical Devices," IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, Vol.19, No.6, Feb.2013

20

【文献】R. Palmer, et al., "Low-Loss Silicon Strip-to-Slot Mode Converters," IEEE Photonics Journal, Vol.5, No.1, Feb.2013

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述のように、矩形導波路とスロット導波路との間で導波路の構造を変換するコンバータが提案されている。ただし、従来のコンバータでは、高次モード成分が伝搬するおそれがある。例えば、スロット導波路を伝搬する光を矩形導波路に導くケースでは、高次モード成分が高い効率で矩形導波路に伝搬するおそれがある。

30

【0011】

本発明の1つの側面に係わる目的は、矩形導波路とスロット導波路とを結合する光導波路素子において高次モード成分を抑制することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の1つの態様に係わる光導波路素子は、スロット導波路と矩形導波路との間に設けられ、テーパ部と、前記テーパ部と前記矩形導波路との間に設けられる離間部と、を備える。前記テーパ部は、前記スロット導波路の一方のコアと結合する第1のコアと、前記スロット導波路の他方のコアと結合し、前記第1のコアに平行に形成された第2のコアと、を備える。前記離間部は、前記第1のコアおよび前記矩形導波路に結合する第3のコアと、前記第2のコアに結合する第4のコアと、を備える。前記スロット導波路が設けられる側の前記テーパ部の端部である第1の端部において、前記第1のコアの断面積および前記第2のコアの断面積は互いに実質的に同じである。前記離間部が設けられる側の前記テーパ部の端部である第2の端部において、前記第1のコアの断面積は前記第2のコアの断面積より大きい。前記テーパ部において、前記第1のコアの断面の形状は、前記第1の端部と前記第2の端部との間で連続的に変化する。前記離間部において、前記第3のコアと前記第4のコアとの間隔が連続的に広がっていく。

40

【発明の効果】

【0013】

50

上述の態様によれば、矩形導波路とスロット導波路とを結合する光導波路素子において高次モード成分が抑制される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】矩形導波路およびスロット導波路の一例を示す図である。

【図2】本発明の実施形態に係わる光集積素子の一例を示す図である。

【図3】コンバータの機能を説明する図である。

【図4】スロット導波路と矩形導波路とを結合するコンバータの一例を示す図である。

【図5】図4に示すコンバータにTE1成分が入力されたときの電界についてのシミュレーション結果を示す図である。

10

【図6】本発明の実施形態に係わるコンバータの一例を示す図である。

【図7】コンバータの導波路を介して伝搬する光に対する実効屈折率を説明する図である。

【図8】基本モードTE0の電界分布の例を示す図である。

【図9】高次モードTE1の電界分布の例を示す図である。

【図10】図6に示すコンバータにTE1成分が入力されたときの電界についてのシミュレーション結果を示す図である。

【図11】基本モード成分TE0の損失および波長依存性を示す図である。

【図12】上部クラッドの構成のバリエーションを示す図である。

【図13】コアの断面の形状のバリエーションを示す図である。

【図14】光終端器の実施例を示す図である。

20

【図15】導波路の幅を変換する機能を備えるコンバータの一例を示す図である。

【図16】スロット導波路がスラブを有するときのコンバータの構成の一例を示す図である。

【図17】キャリアがドーピングされたスロット導波路と矩形導波路とを結合するコンバータの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

図2は、本発明の実施形態に係わる光集積素子の一例を示す。この実施例では、光集積素子100は、マッハツェンダ型光変調器を備える。ただし、光集積素子100は、他の光デバイスを備えてもよい。

30

【0016】

マッハツェンダ型光変調器は、入力光導波路、上アーム光導波路、下アーム光導波路、および出力光導波路を含む。上アーム光導波路および下アーム光導波路は、互いに並列に形成されている。入力CW光は、入力光導波路から上アーム光導波路および下アーム光導波路に導かれる。上アーム光導波路および下アーム光導波路の近傍には、それぞれ不図示の信号電極が設けられている。上アーム光導波路および下アーム光導波路を伝搬するCW光は、それぞれ、信号電極に印加される信号により位相が制御される。上アーム光導波路および下アーム光導波路から出力される光信号は、出力光導波路において合流する。この結果、変調光信号が生成される。

【0017】

40

上記構成の光集積素子100において、入力光導波路および出力光導波路は、それぞれ図1(a)に示す矩形導波路で形成される。また、上アーム光導波路および下アーム光導波路は、それぞれ図1(b)に示すスロット導波路で形成される。よって、光集積素子100は、図2に示すように、矩形導波路とスロット導波路とを結合する光導波路素子（即ち、矩形導波路とスロット導波路との間で導波路の構造を変換する光導波路素子）を備える。以下の記載では、この光導波路素子を「コンバータ1」と呼ぶことがある。

【0018】

図3は、コンバータ1の機能を説明する図である。コンバータ1は、スロット導波路と矩形導波路との間に設けられる。図3に示す例では、コンバータ1は、スロット導波路を伝搬する光を矩形導波路に導く。ただし、コンバータ1は、矩形導波路を伝搬する光をス

50

ロット導波路に導く構成であってもよい。

【0019】

コンバータ1は、光損失が小さいことが好ましい。特に、WDM（波長分割多重）信号を伝送する光通信システムにおいて使用される場合、コンバータ1は、広い帯域に渡って光損失が小さいことが好ましい。

【0020】

スロット導波路は、図1（b）に示すように、並列に形成された2つのコアから構成される。このため、スロット導波路は、通常、2つの導波モード（基本モードおよび高次モード（1次の高次モード））を有するマルチモード導波路である。ここで、2つのコアの間の領域に光電界が集中するモードは、基本モードである。基本モードは、偶モードと呼ばれることもある。1次の高次モードは、奇モードと呼ばれることもある。

10

【0021】

尚、マルチモード導波路においては、導波路構造の製造誤差（例えば、コアの側壁荒れにより、光の進行方向に沿って導波路幅がランダムに変化する誤差）に起因して、基本モードと高次モードとの間で変換が生じることがある。また、EO（Electro-Optical）ポリマーの塗布のむら等に起因して、光の進行方向に垂直な断面において不連続境界を有する場合も、基本モードと高次モードとの間で変換が生じることがある。

【0022】

他方、光信号を伝搬させる光導波路（例えば、矩形導波路）において基本モード成分および高次モード成分が存在する場合、導波路構造の製造誤差等に起因して、高次モードが基本モードに変換することがある。そうすると、本来の基本モード成分と変換により発生した基本モード成分とが干渉する。この場合、通信品質が低下してしまう。したがって、コンバータ1は、図3に示すように、スロット導波路で生じた高次モードを、矩形導波路へ伝搬させない機能を有することが望まれる。

20

【0023】

図4は、スロット導波路と矩形導波路とを結合するコンバータの一例を示す。この例では、コンバータは、スロット導波路を伝搬する光を矩形導波路に導く。

【0024】

コンバータは、領域Xおよび領域Yにわたって形成される。また、コンバータは、導波路11および導波路12から構成される。なお、以下の記載において、「導波路11」は導波路11のコアを意味することがある。また、「導波路12」は導波路12のコアを意味することがある。

30

【0025】

導波路11および導波路12は、図4に示す端部A-Aにおいて、スロット導波路を構成する1組の光導波路に結合される。ここで、端部A-Aにおいて、導波路11の断面の形状および導波路12の断面の形状は、互いに同じである。他方、端部B-Bにおいて、導波路11は、矩形導波路に結合される。ここで、端部B-Bにおける導波路11の断面の面積は、端部A-Aにおける導波路11の断面の面積より大きい。具体的には、端部B-Bにおける導波路11の断面の幅は、端部A-Aにおける導波路11の断面の幅より大きい。なお、導波路11の形状は、領域Xにおいて連続的に変化する。具体的には、導波路11の幅は、領域Xにおいて、端部A-Aから端部B-Bに向かって徐々に広がっている。なお、領域Yにおいては、導波路11の幅はほぼ一定であるが、導波路12の幅は端部B-Bに向かって徐々に狭くなっている。

40

【0026】

上記構成のコンバータは、この実施例では、スロット導波路を伝搬する光を矩形導波路に導く。すなわち、スロット導波路からコンバータに光信号が入力される。ここで、スロット導波路からコンバータへの入力光は、基本モード成分および高次モード成分を含むものとする。

【0027】

以下の記載では、一例として、TEモード光がコンバータに入力されるものとする。T

50

Eモードは、光の進行方向に垂直であり、且つ、基板に水平な電界成分が主となる導波モードである。また、以下の記載では、TEモード光の基本モードを「TE0」と呼び、TEモード光の1次の高次モードを「TE1」と呼ぶことがある。なお、TE0は、TEモードの中で最も実効屈折率が高い導波モードである。TE1は、TEモードの中で2番目に実効屈折率が高い導波モードである。

【0028】

図4に示すL1（光の進行方向における領域Xの長さ）およびL2（光の進行方向における領域Yの長さ）は、TE0成分がコンバータに入力されたときに、導波路11を介して出力されるTE0成分の損失が十分に小さくなるように設計される。この例では、L1が17 μm であり、L2が5 μm である。なお、各導波路11、12のコアの高さは、均一であり、220nmである。端部A-Aにおいて、各導波路11、12のコアの幅は0.26 μm である。領域Xと領域Yとの境界において、導波路11のコアの幅は0.48 μm である。

10

【0029】

図5は、図4に示すコンバータにTE1成分が入力されたときの電界についてのシミュレーション結果を示す。図5において、白色に近いほど正の電界が強い状態を表している。また、黒色に近いほど負の電界が強い状態を表している。すなわち、白色および黒色から構成される縞模様は、コンバータの光導波路を介してTE1成分が伝搬している状態を表している。

【0030】

コンバータに入力されたTE1成分は、図5に示すように、領域Xおよび領域Yを介して伝搬し、端部B-Bに到達する。そして、端部B-Bに到達したTE1成分の一部は、導波路11から矩形導波路に出力される。ここで、図5に示すシミュレーションにおいては、コンバータに入力されたTE1成分のパワーの約70パーセントが矩形導波路に出力される。

20

【0031】

このように、図4に示す構成では、コンバータにおいてTE1成分は除去されない。したがって、コンバータへの入力光がTE0成分およびTE1成分を含むときには、TE0成分だけでなくTE1成分も矩形導波路に導かれてしまう。この場合、矩形導波路において、本来のTE0成分とTE1成分から変換されるTE0成分とが干渉し、通信品質が低下するおそれがある。

30

【0032】

なお、図4に示すコンバータにおいてTE1成分が十分に除去されない理由は、コンバータの出力端（即ち、端部B-B）において、導波路11および導波路12が互いに近接している構成に起因する。すなわち、導波路12は、端部B-Bにおいて、光の進行方向に対してエッジを有している。このため、端部B-Bにおいて、導波路12を介して伝搬してきたTE1成分に起因する電界が生じる。ところが、端部B-Bにおいて、導波路11および導波路12が互いに近接しているため、導波路12のエッジの近傍でTE1成分に起因して生じた電界が導波路11に到達してしまう。この結果、TE1成分の一部が矩形導波路に導かれる。

40

【0033】

<実施形態>

図6は、本発明の実施形態に係わるコンバータの一例を示す。図6に示すコンバータ1は、スロット導波路と矩形導波路との間に設けられ、スロット導波路と矩形導波路とを結合する光導波路素子として使用される。この実施例では、コンバータ1は、スロット導波路を伝搬する光を矩形導波路に導く。

【0034】

なお、以下の記載では、光導波路のコアを「導波路」を呼ぶことがある。例えば、「導波路11」は、導波路11のコアを意味することがある。同様に、「導波路12」は、導波路12のコアを意味することがある。

50

【 0 0 3 5 】

コンバータ 1 は、図 6 に示すように、テーパ部 2 および離間部 3 を備える。テーパ部 2 は、スロット導波路に接続する。離間部 3 は、テーパ部 2 と矩形導波路との間に設けられる。

【 0 0 3 6 】

コンバータ 1 は、導波路 1 1 および導波路 1 2 を備える。なお、以下の記載では、導波路 1 1 のうち、テーパ部 2 に形成される部分を「導波路 1 1 a」と呼び、離間部 3 に形成される部分を「導波路 1 1 b」と呼ぶことがある。同様に、導波路 1 2 のうち、テーパ部 2 に形成される部分を「導波路 1 2 a」と呼び、離間部 3 に形成される部分を「導波路 1 2 b」と呼ぶことがある。

10

【 0 0 3 7 】

テーパ部 2 は、導波路 1 1 a および導波路 1 2 a を備える。導波路 1 1 a はスロット導波路の一方のコアの結合し、導波路 1 2 a はスロット導波路の他方のコアに結合する。ここで、導波路 1 1 a および導波路 1 2 a は、それぞれ直線状に形成される。また、導波路 1 1 a および導波路 1 2 a は、互いに平行に形成される。「平行」は、「ほぼ平行」または「実質的に平行」を含むものとする。

【 0 0 3 8 】

離間部 3 は、導波路 1 1 b および導波路 1 2 b を備える。導波路 1 1 b の一端は導波路 1 1 a に結合し、導波路 1 1 b の他端は矩形導波路に結合する。導波路 1 2 b は、導波路 1 2 a に結合する。

20

【 0 0 3 9 】

「結合」は、導波路どうし（又は、導波路のコアどうし）が光学的に結合された状態を意味する。よって、例えば「導波路 A および導波路 B が結合する」は、導波路 A と導波路 B とが直接的に結合または接続している状態だけでなく、導波路 A と導波路 B とが他の導波路等を介して光学的に結合している状態を含むものとする。

【 0 0 4 0 】

スロット導波路が設けられる側のテーパ部 2 の端部（即ち、端部 A - A）において、導波路 1 1 a のコアの断面積および導波路 1 2 a のコアの断面積は互いに実質的に同じである。この実施例では、端部 A - A において、導波路 1 1 a のコアの断面の形状および導波路 1 2 a のコアの断面の形状は、互いに実質的に同じである。なお、特に限定されるものではないが、端部 A - A において、導波路 1 1 a および導波路 1 2 a のコアの幅は $0.26 \mu\text{m}$ であり、高さは $0.22 \mu\text{m}$ である。導波路（1 1 a、1 1 b、1 2 a、1 2 b）のコアの高さは、一定である。

30

【 0 0 4 1 】

離間部 3 が設けられる側のテーパ部 2 の端部（即ち、端部 C - C）において、導波路 1 1 a のコアの断面積は、導波路 1 2 a のコアの断面積より大きい。具体的には、端部 C - C において、導波路 1 1 a のコアの幅は、導波路 1 2 a のコアの幅より大きい。なお、特に限定されるものではないが、端部 C - C における導波路 1 1 a のコアの幅は $0.48 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 4 2 】

テーパ部 2 において、導波路 1 1 a のコアの断面の形状は、端部 A - A と端部 C - C との間で連続的に変化する。具体的には、テーパ部 2 において、導波路 1 1 a のコアの幅が端部 A - A から端部 C - C に向かって徐々に広がっていく。これに対して、導波路 1 2 a のコアの幅は、テーパ部 2 内でほぼ一定である。

40

【 0 0 4 3 】

なお、テーパ部 2 の長さ L_1 （端部 A - A から端部 C - C までの長さ）は、例えば、図 4 を参照して説明したポリシに従って設計される。この場合、TE₀成分がコンバータ 1 に入力されたときに、矩形導波路に出力される TE₀成分の損失が十分に小さくなるように設計される。この例では、長さ L_1 は $17 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 4 4 】

50

導波路 1 1 b は、導波路 1 1 a および導波路 1 1 b が同じ直線上に配置されるように、離間部 3 に形成される。なお、導波路 1 1 b の幅は、離間部 3 内で一定であり、端部 C - C における導波路 1 1 a の幅と同じである。

【 0 0 4 5 】

導波路 1 2 b は、離間部 3 において、導波路 1 1 b を伝搬する光の方向および導波路 1 2 b を伝搬する光の方向が互いに異なるように形成される。具体的には、離間部 3 において、導波路 1 1 b と導波路 1 2 b との間隔が連続的に広がっていくように、導波路 1 1 b が形成される。ここで、導波路 1 2 b は、例えば、一定の曲率を有する曲線導波路により実現される。この場合、曲率半径 R は、特に限定されるものではないが、例えば 20 μ m 程度である。曲線導波路の曲率が一定である構成は、設計が容易である。ただし、導波路 1 2 b は、他の構成で実現してもよい。例えば、導波路 1 2 b の形状は、クロソイド曲線であってもよい。この場合、導波路 1 2 a と導波路 1 2 b との境界において曲率が連続的に変化するので、不連続点で生じる高次モード成分（例えば、TE 1）の散乱による影響が小さくなる。

10

【 0 0 4 6 】

図 7 は、コンバータ 1 の導波路を介して伝搬する光に対する実効屈折率を説明する図である。なお、図 7 に示すグラフの横軸は、コンバータ 1 内での位置を表す。「位置」は、端部 A - A を基準として光の進行方向における端部 A - A からの距離を表す。ここで、端部 A - A の位置が「ゼロ」であり、端部 C - C の位置が「10」である。すなわち、横軸は、テーパ部 2 に長さを「10」として正規化されている。縦軸は、実効屈折率を表す。

20

【 0 0 4 7 】

実効屈折率は、光の導波モードに依存する。一般に、基本モードの実効屈折率は、高次モードの実効屈折率より大きい。図 7 に示す例では、TE 0 の実効屈折率は、TE 1 の実効屈折率より大きくなっている。

【 0 0 4 8 】

また、実効屈折率は、光が伝搬する導波路の形状に依存する。例えば、光が伝搬する導波路のコアの断面積が大きいほど実効屈折率が大きくなる傾向がある。ここで、互いに隣接する 1 組の導波路のコアの断面の面積が異なる場合、基本モードの電界は、コアの断面の面積が大きい方の導波路に局在する傾向がある。また、コンバータ 1 においては、端部 A - A から離れるにつれて、導波路 1 1 a のコアの断面の面積が大きくなっていく。すなわち、基本モード成分は、端部 A - A から離れるにつれて、導波路 1 1 a の影響が支配的になる。したがって、TE 0 の実効屈折率は、図 7 に示すように、端部 A - A から離れるにつれて、徐々に大きくなっている。

30

【 0 0 4 9 】

図 8 は、基本モード TE 0 の電界分布の例を示す。図 9 は、高次モード TE 1 の電界分布の例を示す。なお、図 8 ~ 図 9 において、X 軸は、基板に対して平行、且つ、光の進行方向に対して直交する方向における位置を表す。Y 軸は、基板に垂直な方向における位置を表す。また、図 5 に示すケースと同様に、白色に近いほど正の電界が強い状態を表し、黒色に近いほど負の電界が強い状態を表す。なお、図 8 ~ 図 9 に示す矩形枠は、導波路 1 1 a および導波路 1 2 a の位置を表す。

40

【 0 0 5 0 】

ここで、互いに隣接する 1 組の導波路のコアの形状が互いに同じときは、それら 1 組の導波路において位相整合条件が成立する。そして、1 組の導波路において位相整合条件が成立するときは、導波路を伝搬する光の電界は、2 つのコアに対して均等に分布する。したがって、位置ゼロ（すなわち、テーパ部 2 の端部 A - A）においては、1 組の導波路 1 1 a および導波路 1 2 a に対して電界が均等に分布する。具体的には、位置ゼロにおける基本モード成分 TE 0 の電界は、図 8 に示すように、2 つのコアの間の領域に局在する。位置ゼロにおける高次モード成分 TE 1 に対しては、図 9 に示すように、一方のコア（ここでは、導波路 1 2 a のコア）の近傍で正の電界が強くなり、他方のコア（ここでは、導波路 1 1 a のコア）の近傍で負の電界が強くなっている。

50

【 0 0 5 1 】

互いに隣接する 1 組の導波路のコアの形状が互いに異なるときは、1 組の導波路において位相整合条件が崩れる。この場合、各導波モードの成分は、いずれか一方のコアに局在する傾向がある。具体的には、コアの断面の面積が大きい方の導波路には、実効屈折率が大きい導波モードの電界が局在する傾向がある。また、コアの断面の面積が小さい方の導波路には、実効屈折率が小さい導波モードの電界が局在する傾向がある。よって、入力光が基本モード成分 T E 0 および高次モード成分 T E 1 を含むときは、コアの断面の面積が大きい方の導波路に基本モード T E 0 の電界が局在し、コアの断面の面積が小さい方の導波路に高次モード T E 1 の電界が局在する。

【 0 0 5 2 】

ここで、コンバータ 1 においては、端部 A - A からの距離が大きくなるにつれて、導波路 1 1 a のコアの断面の面積が徐々に大きくなっていく。一方、導波路 1 2 a のコアの断面の面積はほぼ一定である。よって、基本モード T E 0 の電界は、図 8 に示すように、端部 A - A からの距離が大きくなるにつれて、導波路 1 1 a に局在するようになる。具体的には、位置ゼロ（テーパ部 2 の端部 A - A）においては、白色領域（即ち、電界が強い領域）が 1 組のコアの間に現れるが、位置 1 0（テーパ部 2 の端部 C - C）においては、白色領域が導波路 1 1 a のコア内に現れる。

【 0 0 5 3 】

高次モード T E 1 の電界は、図 9 に示すように、端部 A - A からの距離が大きくなるにつれて、導波路 1 2 a に局在するようになる。具体的には、位置ゼロ（テーパ部 2 の端部 A - A）においては、白色領域（即ち、正の電界が強い領域）が導波路 1 2 a のコアの近傍に現れ、黒色領域（即ち、負の電界が強い領域）が導波路 1 1 a のコアの近傍に現れる。これに対して位置 1 0（テーパ部 2 の端部 C - C）においては、導波路 1 1 a のコアの近傍で電界が弱くなっている。

【 0 0 5 4 】

ここで、各モードについて、両方のコアに電界が局在する位置 0 から、他方のコアに電界が局在する位置 1 0 の間は、光の進行方向に沿って導波路が連続、すなわちテーパ導波路になっている。テーパ長が十分緩やかに変化するとき、ある断面におけるモードは（例えば、断面 0 の T E 0）、別の断面における同一モード（例えば、断面 1 0 の T E 0）に無視できる程度の損失で変換することが可能である。これは、一般的に「断熱変換」と呼ばれる。

【 0 0 5 5 】

この原理により、コンバータ 1 への入力光が基本モード成分 T E 0 および高次モード成分 T E 1 を含むときは、端部 C - C において、基本モード成分 T E 0 は、導波路 1 1 a を介して出力される。したがって、導波路 1 1 a から離間部 3 に入力される基本モード成分 T E 0 は、導波路 1 1 b を介して矩形導波路に導かれる。

【 0 0 5 6 】

高次モード成分 T E 1 のパワーの大部分は、端部 C - C において、導波路 1 2 a に局在している。そして、導波路 1 2 a に局在する高次モード成分 T E 1 は、離間部 3 に形成される導波路 1 2 b に導かれる。ここで、図 6 に示すように、離間部 3 において、導波路 1 1 b と導波路 1 2 b との間隔が連続的に大きくなっていく。そして、導波路 1 2 b の先端は、導波路 1 1 b から大きく離れている。このため、導波路 1 2 b に導かれた高次モード成分 T E 1 の電界は、実質的に、導波路 1 1 b には届かない。したがって、矩形導波路に出力される高次モード成分 T E 1 は僅かである。すなわち、コンバータ 1 への入力光が基本モード成分 T E 0 および高次モード成分 T E 1 を含むとき、高次モード成分 T E 1 は、コンバータ 1 において除去または抑制される。

【 0 0 5 7 】

なお、導波路 1 1 b と導波路 1 2 b の先端との間隔が大きいときは、矩形導波路に出力される高次モード成分 T E 1 が小さくなる。ただし、導波路 1 1 b と導波路 1 2 b の先端との間隔が大きいと、コンバータ 1 のサイズが大きくなってしまふ。よって、導

10

20

30

40

50

波路 1 1 b と導波路 1 2 b の先端との間の間隔は、これらの要件を考慮して設計することが好ましい。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 は、図 6 に示すコンバータ 1 に T E 1 成分が入力されたときの電界についてのシミュレーション結果を示す。図 5 に示す例と同様に、図 1 0 においても、白色に近いほど正の電界が強い状態を表している。また、黒色に近いほど負の電界が強い状態を表している。すなわち、白色および黒色から構成される縞模様は、コンバータ 1 を構成する光導波路を介して T E 1 成分が伝搬している状態を表している。

【 0 0 5 9 】

コンバータ 1 に入力された T E 1 成分は、図 1 0 に示すように、テーパ部 2 に形成されている 1 組の導波路 1 1 a / 1 2 a を介して伝搬し、端部 C - C に到達する。端部 C - C においては、T E 1 成分のパワーの大部分は導波路 1 2 a に局在している。そして、この T E 1 成分は、離間部 3 に形成されている導波路 1 2 b に導かれる。ここで、導波路 1 2 b は、端部 B - B においてエッジ（即ち、不連続点）を有する。このため、導波路 1 2 b の先端の近傍では、T E 1 成分の影響が発生する。ただし、導波路 1 2 b の先端は、導波路 1 1 b から十分に離れているので、T E 1 成分の電界は導波路 1 1 b には到達しない。したがって、矩形導波路に出力される T E 1 成分のパワーは十分に小さい。なお、シミュレーションによれば、コンバータ 1 に T E 1 成分が入力される時、矩形導波路に出力される T E 1 成分のパワーは、コンバータ 1 に入力される T E 1 成分のパワーに対して、 - 1 4 . 8 d B（すなわち、約 3 . 3 パーセント）である。

【 0 0 6 0 】

図 1 1 (a) は、コンバータ 1 における基本モード成分 T E 0 の損失を示す。横軸は、テーパ部 2 の長さを表す。縦軸は、F D T D (Finite Difference Time Domain) 法で計算した損失を表す。なお、各導波路のコアの断面の形状は、図 4 に示す通りである。

【 0 0 6 1 】

損失は、テーパ部 2 に形成される導波路の長さ L 1 に依存する。具体的には、L 1 が長くなると損失が小さくなる。この理由は、L 1 が長くなると、光の進行方向において導波路 1 1 a のコアの断面の形状の変化が緩やかになる、ことに起因すると考えられる。すなわち、断熱変換が成り立つためである。この実施例では、L 1 が 1 7 μm になると、損失が十分に小さくなっている。よって、コンバータ 1 のテーパ部 2 の長さは 1 7 μm に設定される。

【 0 0 6 2 】

図 1 1 (b) は、コンバータ 1 における基本モード成分 T E 0 の損失の波長依存性を示す。横軸は、コンバータ 1 への入力光の波長を表す。縦軸は、F D T D 法で計算した損失を表す。なお、各導波路のコアの断面の形状は図 4 に示す通りであり、テーパ部 2 の長さは 1 7 μm である。

【 0 0 6 3 】

この例では、C バンド及び L バンドを含む広い波長範囲において、損失は 0 . 0 2 d B 以下である。すなわち、広い波長範囲に対して低損失のコンバータが実現される。なお、光の進行方向において導波路 1 1 a のコアの断面の形状の変化が緩やかであれば、入力光の波長が変化しても、変換効率は殆ど変化しないと考えられる。また、基本モード成分 T E 0 のパワーの一部が導波路 1 2 b に導かれるときには、導波路 1 2 b の先端部で基本モード成分 T E 0 の電界が散乱することがある。ところが、導波路 1 2 b の先端部は、導波路 1 1 b から十分に離れている。よって、導波路 1 2 b の先端部で発生する基本モード成分 T E 0 の電界の散乱は、矩形導波路に出力される基本モード成分 T E 0 の損失に影響を及ぼさない。

【 0 0 6 4 】

このように、本発明の実施形態に係わる構成によれば、スロット導波路を伝搬する基本モード成分 T E 0 が、低損失で、矩形導波路に導かれる。すなわち、スロット導波路と矩形導波路との間で、基本モード成分 T E 0 に対して断熱変換が実現される。また、入力光

10

20

30

40

50

が基本モード成分 TE_0 および高次モード成分 TE_1 を含むときは、コンバータ 1 において高次モード成分 TE_1 の伝搬が十分に抑制される。したがって、本発明の実施形態に係わる構成は、通信品質の改善に寄与する。

【0065】

<バリエーション 1>

光集積素子が光変調器を含む場合、マッハツェンダ干渉計を構成する上アーム光導波路および下アーム光導波路は、それぞれスロット導波路で構成されることがある。そして、光変調器を構成するスロット導波路の近傍には、例えば、図 12 (a) に示すように、EOポリマーが塗布される。すなわち、スロット導波路の上部クラッドの材料として、EOポリマーが使用されることがある。なお、図 12 に表記される「EOP」は、EOポリマーを表す。

10

【0066】

この場合、コンバータ 1 を構成する光導波路の上部クラッドは、一般的な材料で形成してもよい。すなわち、コンバータ 1 を構成する光導波路 (11、12) の上部クラッドの材料は、スロット導波路の上部クラッドの材料と異なってもよい。図 12 (a) に示す例では、コンバータ 1 を構成する光導波路の上部クラッドは、下部クラッドと同様に、 SiO_2 で形成されている。この構成を採用する場合は、製造プロセスの安定性が高いので、光集積素子の特性が安定する。なお、図 12 (a) に示す例では、コンバータ 1 の端部で上部クラッドの材料が変わるが、他の位置で上部クラッドの材料が変わってもよい。

【0067】

本発明の実施形態は、この構成に限定されるものではない。すなわち、コンバータ 1 を構成する光導波路 (11、12) の上部クラッドの材料は、スロット導波路の上部クラッドの材料と同じであってもよい。図 12 (b) に示す例では、スロット導波路のコアにEOポリマーが塗布される場合に、コンバータ 1 を構成する光導波路の上部クラッドもEOポリマーで形成される。この構成を採用する場合、スロット導波路が形成される領域とコンバータ 1 が形成される領域との境界で屈折率が不連続になることがないので、光の導波モードが安定し、コンバータ 1 における損失が小さくなる。

20

【0068】

<バリエーション 2>

コンバータ 1 を構成する光導波路 (11、12) のコアの断面の形状は、例えば、図 13 (a) に示すように、矩形である。ただし、本発明の実施形態は、この構成に限定されるものではない。例えば、コンバータ 1 を構成する光導波路は、図 13 (b) に示すように、スラブを有するリブ導波路であってもよい。また、矩形導波路、リブ導波路などの導波路の角は、製造上生じる角の丸みを帯びていても良く、実質的にまたはほぼ直角であればよい。導波路の側壁角は基板に対して垂直となっているが、製造上生じる傾斜を持っていても良い。

30

【0069】

光導波路のコア/クラッドの材料は、 Si/SiO_2 に限定されるものではなく、例えば、 SiO_2 ベースの PLC (Planar Lightwave Circuit) 導波路または InP 導波路であってもよい。ただし、 Si でコアを形成し、 SiO_2 で上部クラッドおよび下部クラッドを形成する導波路は、コアとクラッドとの間で屈折率の差が大きく、デバイスの小型化が可能なので、好ましい。

40

【0070】

上述の実施例では、コンバータ 1 はスロット導波路から矩形導波路への変換を行うが、本発明はこの構成に限定されるものではない。すなわち、受動導波路の時間に対する可逆性により、本発明の実施形態に係わる構成は、矩形導波路からスロット導波路への変換も可能である。また、コンバータ 1 は、 TE モードだけでなく、 TM モードに対しても同様の機能を有する。 TM モードは、光の進行方向に垂直かつ基板に垂直な方向に主電界成分を持つ導波モードである。

【0071】

50

上述の実施例では、離間部 3 において、矩形導波路に結合する導波路（すなわち、導波路 1 1 b）が直線であり、矩形導波路に結合しない導波路（すなわち、導波路 1 2 b）が導波路 1 1 b に対して離間するように形成されるが、本発明はこの構成に限定されるものではない。例えば、導波路 1 2 b が直線であり、導波路 1 1 b が導波路 1 2 b に対して離間する構成であってもよい。また、導波路 1 1 b および導波路 1 2 b が互いに離間する構成であってもよい。ただし、導波路 1 1 b は、主信号（または、基本モード成分）が伝搬するので、曲げ損失を小さくするためには、導波路 1 1 b が直線であり、導波路 1 2 b が導波路 1 1 b に対して離間する構成が好ましい。

【0072】

上述の実施例では、コアの幅を変えることでコアの断面積が調整されるが、コアの高さを変えることでコアの断面積を調整してもよいし、幅および高さの双方を変えることでコアの断面積を調整してもよい。ただし、リソグラフィおよびエッチングにより導波路のコアを形成する場合は、マスクの形状によりコアの幅が決定される。したがって、製造工程を複雑にしないためには、コアの幅を変えることでコアの断面積を調整する方法が好ましい。

10

【0073】

<バリエーション 3>

入力光が基本モード成分 TE_0 および高次モード成分 TE_1 を含むときは、高次モード成分 TE_1 は、離間部 3 において導波路 1 2 に導かれる。そして、この高次モード成分 TE_1 は、導波路 1 2 の先端において反射し、テーパ部 2 に戻ることがある。戻ってきた光は、側壁荒れによって再度反射し信号光と干渉する恐れがある。また、変調器の前端にレーザーを使用する場合、戻り光により発振波長が不安定動作する恐れがある。

20

【0074】

そこで、コンバータ 1 は、図 1 4 (a) に示すように、導波路 1 2 の先端に光終端器 2 1 を備えてもよい。この構成によれば、離間部 3 において導波路 1 2 を伝搬する高次モード成分 TE_1 は、光終端器 2 1 により終端されるので、反射が抑制される。すなわち、導波路 1 2 の先端に光終端器 2 1 を設けることにより、高次モード成分を除去または抑制する能力が向上する。これは、矩形導波路からスロット導波路に変換する部分で本願を用いる場合も同様であり、任意の部分で反射した光が導波路 1 2 の先端で反射し、再度光信号と同一方向に伝搬、その後側壁荒れ等の影響で TE_0 に変換し、信号光と干渉する恐れがある。そのため、使用するか所に寄らず終端を備える構造は効果がある。

30

【0075】

なお、光終端器 2 1 は、例えば、図 1 4 (b) に示すように、導波路 1 2 の先端をテーパ構造にすることで実現される。この場合、離間部 3 において導波路 1 2 のコアの幅が徐々に狭くなるように形成される。また、光終端器 2 1 は、図 1 4 (c) に示すように、導波路 1 2 の先端に近い部分に、光を吸収する物質を高濃度にドーピングすることで実現してもよい。この場合、例えば、離間部 3 において導波路 1 2 b のコアに、光を吸収する物質が高濃度にドーピングされる。光を吸収する物質は、特に限定されるものではなく、公知の材料を採用することができる。或いは、光終端器 2 1 は、図 1 4 (d) に示すように、導波路 1 2 の先端にフォトダイオード等の受光器を設けることで実現してもよい。この場合、導波路 1 2 の先端に到達する光は、電流に変換されるので、反射が抑制される。

40

【0076】

<バリエーション 4>

コンバータ 1 は、上述したように、スロット導波路と矩形導波路との間に設けられる。ただし、コンバータ 1 を構成する導波路（ R_1 、 R_2 ）の幅は、必ずしもスロット導波路および/または矩形導波路の幅と同じではない。そこで、コンバータ 1 は、導波路の幅を変換する構成を備えてもよい。

【0077】

図 1 5 に示す例では、コンバータ 1 は、スロット導波路とテーパ部 2 との間に導波路幅変換部 4 を備える。導波路幅変換部 4 は、スロット導波路とテーパ部 2 に形成される導波

50

路 1 1、1 2 との間で連続的に幅が変化するテーパ状の光導波路により実現される。この場合、導波路幅変換部 4 は、スロット導波路を構成する 1 組の導波路の間隔と、テーパ部 2 に形成される導波路 1 1、1 2 の間隔とを整合させてもよい。また、コンバータ 1 は、離間部 3 と矩形導波路との間に導波路幅変換部 5 を備える。導波路幅変換部 5 は、離間部 3 に形成される導波路 1 1 と矩形導波路との間で連続的に幅が変化するテーパ状の光導波路により実現される。この構成によれば、コンバータ 1 は、任意の形状のスロット導波路と矩形導波路とを結合できる。なお、導波路幅変換部 4、5 は、コンバータ 1 の一部であってもよいし、コンバータ 1 の外に形成されてもよい。

【0078】

<バリエーション 5 >

スロット導波路がスラブを有し、コンバータ 1 を構成する各導波路 1 1、1 2 の断面の形状が矩形である場合、コンバータ 1 は、図 1 6 に示すように、スロット導波路とテーパ部 2 との間にスラブ発生部 6 を備えてもよい。スラブは、コアと同じ材料でレールより低く形成される。スラブ発生部 6 は、光の進行方向においてスラブ領域が徐々に狭くなるように形成される。すなわち、スロット導波路が形成される $X 1 - X 1$ 断面では、横方向にスラブが広がっている。スラブ発生部 6 が設けられる $X 2 - X 2$ 断面では、 $X 1 - X 1$ 断面と比較して、スラブが形成される領域が小さくなっている。そして、テーパ部 2 が設けられる $X 3 - X 3$ 断面では、スラブは形成されない。このように、スラブ発生部 6 において光の進行方向においてスラブ領域が徐々に狭くなるように形成されると、断熱変換が実現されるので、コンバータ 1 の低損失化に寄与する。

【0079】

<バリエーション 6 >

光集積素子が光変調器を含む場合、光変調器を構成する光導波路はスロット導波路で構成されることがある。この場合、スロット導波路の各コアにキャリアがドーピングされることがある。例えば、光導波路の近傍に E O ポリマーが塗布される光変調器において、E O ポリマーに電圧を印加するために、コアにキャリアをドーピングして電気抵抗を小さくする構成が知られている。

【0080】

図 1 7 は、キャリアがドーピングされたスロット導波路と矩形導波路とを結合するコンバータの一例を示す。なお、図 1 7 に示す斜線領域は、キャリアがドーピングされた領域を表している。

【0081】

コンバータ 1 は、上述したように、入力光が基本モード成分 T E 0 および高次モード成分 T E 1 を含む場合、基本モード成分 T E 0 から高次モード成分 T E 1 を分離して導波路 1 2 に導く。ここで、図 1 4 に示す光終端器 2 1 が設けられていないものとする、高次モード成分 T E 1 は、導波路 1 2 の先端で反射してスロット導波路に導かれる。ここで、スロット導波路のコアにキャリアがドーピングされていると、スロット導波路において吸収損失が発生する。ただし、基本モード成分 T E 0 と比較して、高次モード成分 T E 1 は電界が広がりやすい。このため、スロット導波路のコアにキャリアがドーピングされている場合、基本モード成分 T E 0 の損失と比較して、高次モード成分 T E 1 の損失が大きくなる。すなわち、導波路 1 2 の先端での反射により高次モード成分 T E 1 がスロット導波路に導かれても、その高次モード成分 T E 1 はスロット導波路内で吸収される。

【0082】

したがって、スロット導波路にキャリアがドーピングされているときは、図 1 4 に示す光終端器 2 1 を設けなくても、高次モード成分 T E 1 の影響が低減される。そして、光終端器 2 1 を設けなくてもよいのであれば、導波路 1 2 の先端の構成を任意に決めることができるので、設計の自由度が高くなる。ただし、スロット導波路にキャリアがドーピングされる構成であっても、導波路 1 2 の先端に光終端器 2 1 を設けてもよい。

【0083】

なお、図 6 に示す実施形態およびバリエーション 1 ~ 6 は、任意に組み合わせることが

10

20

30

40

50

可能である。

【符号の説明】

【 0 0 8 4 】

1 コンバータ

2 テーパ部

3 離間部

4、5 導波路幅変換部

6 スラブ発生部

1 1 (1 1 a、1 1 b) 導波路

1 2 (1 2 a、1 2 b) 導波路

2 1 光終端器

1 0 0 光集積素子

10

20

30

40

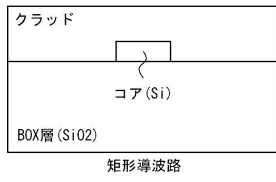
50

【 図面 】

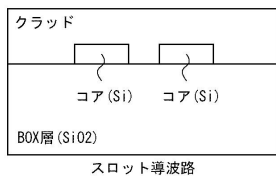
【 図 1 】

矩形導波路およびスロット導波路の一例を示す図

(a)

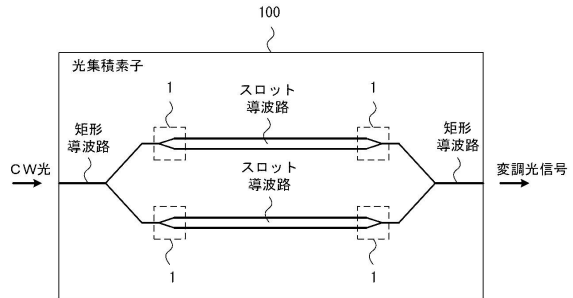


(b)



【 図 2 】

本発明の実施形態に係わる光集積素子の一例を示す図

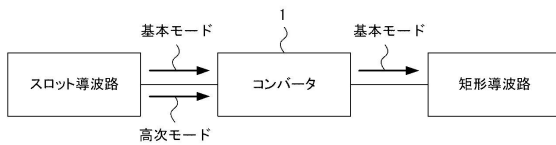


10

20

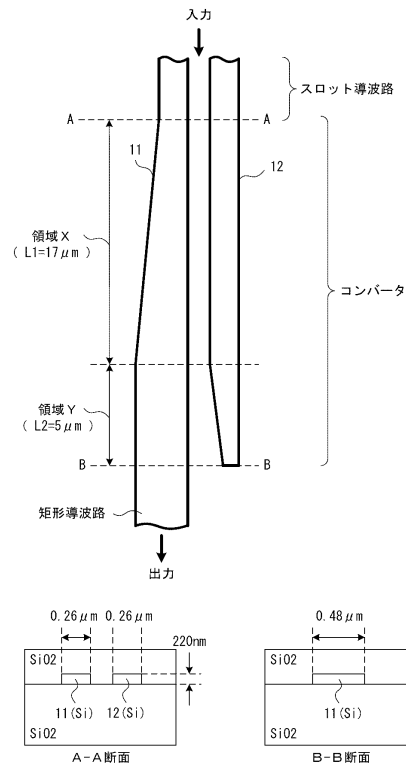
【 図 3 】

コンバータの機能を説明する図



【 図 4 】

スロット導波路と矩形導波路とを結合するコンバータの一例を示す図



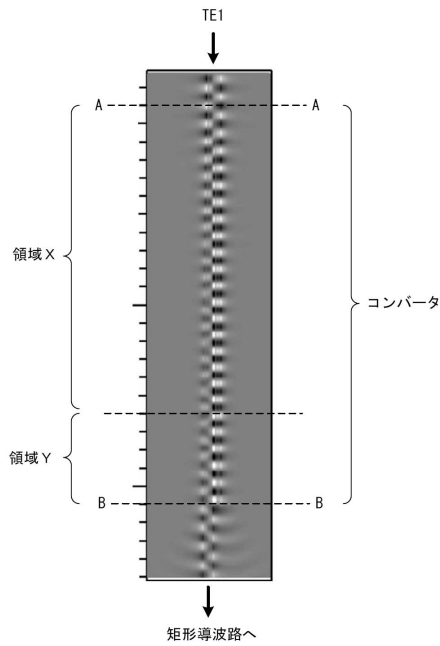
30

40

50

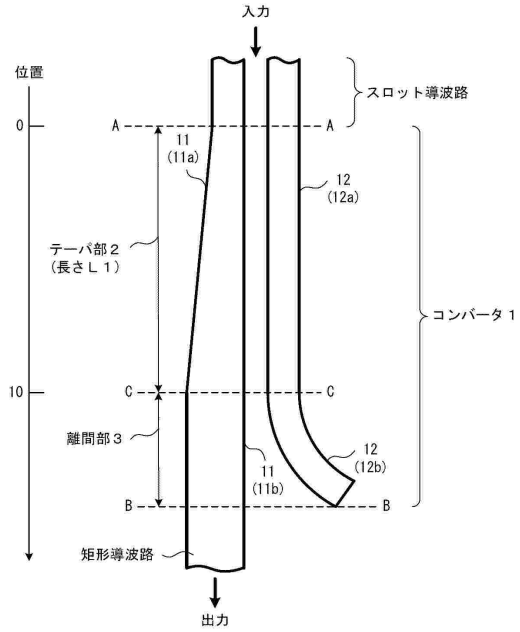
【 図 5 】

図4に示すコンバータにTE1成分が入力されたときの電界についてのシミュレーション結果を示す図



【 図 6 】

本発明の実施形態に係わるコンバータの一例を示す図

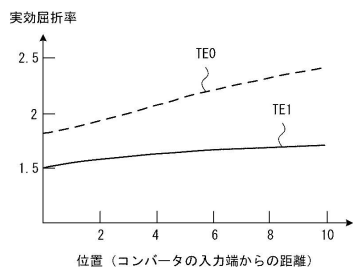


10

20

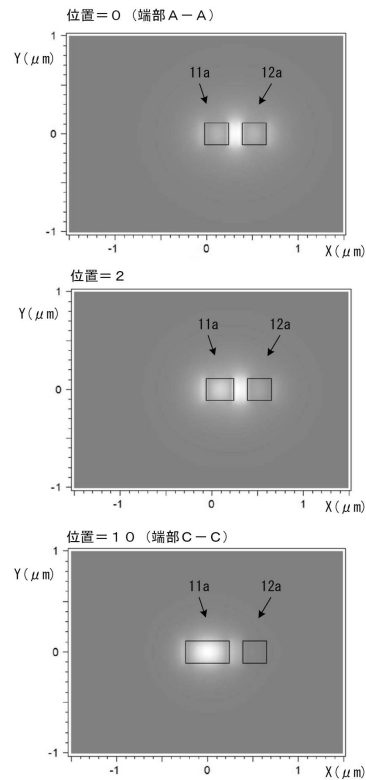
【 図 7 】

コンバータの導波路を介して伝搬する光に対する実効屈折率を説明する図



【 図 8 】

基本モードTE0の電界分布の例を示す図



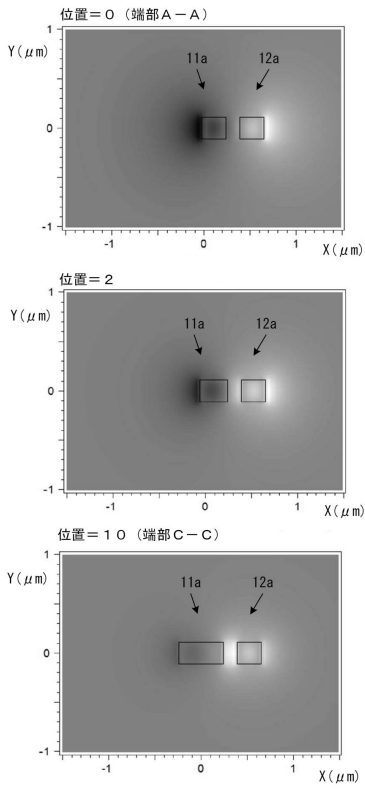
30

40

50

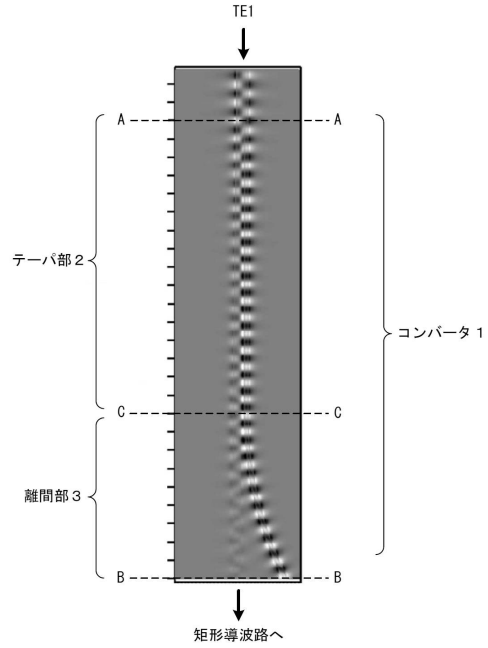
【 図 9 】

高次モードTE1の電界分布の例を示す図



【 図 10 】

図6に示すコンバータにTE1成分が入力されたときの電界についてのシミュレーション結果を示す図

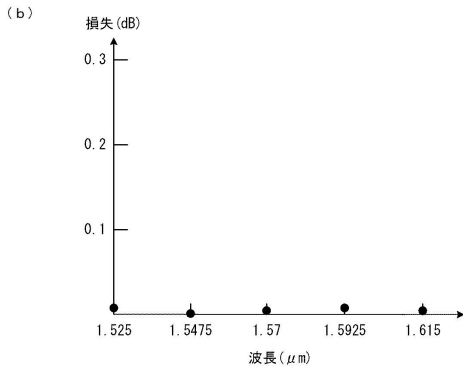
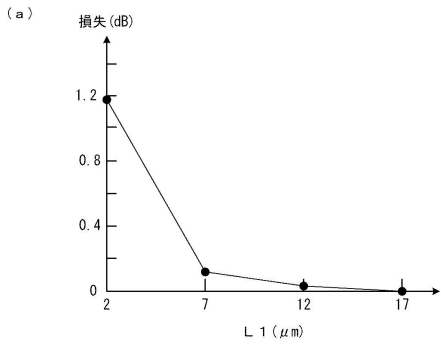


10

20

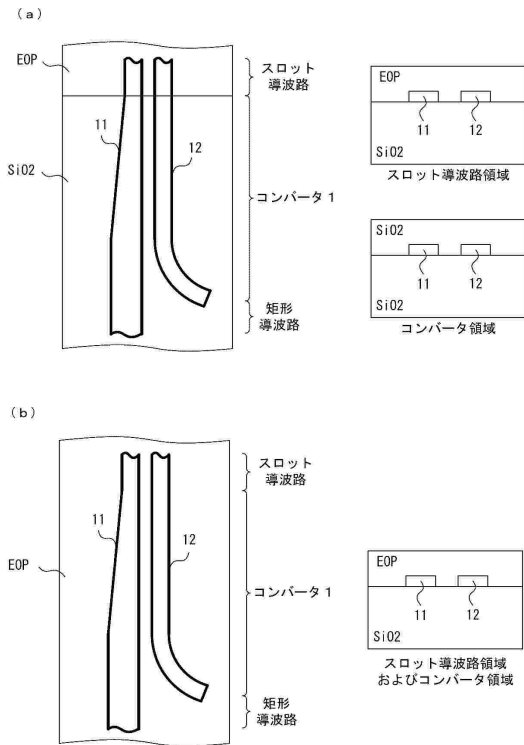
【 図 11 】

基本モード成分TE0の損失および波長依存性を示す図



【 図 12 】

上部クラッドの構成のバリエーションを示す図



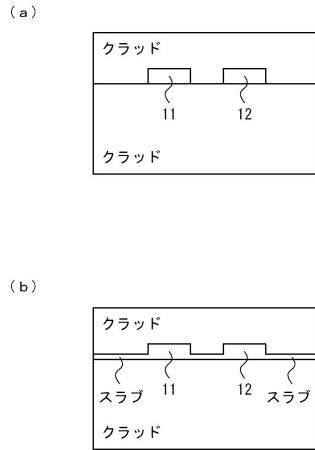
30

40

50

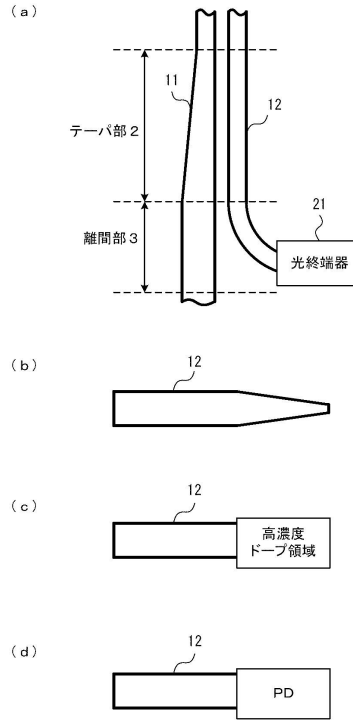
【図 1 3】

コアの断面の形状のバリエーションを示す図



【図 1 4】

光終端器の実施例を示す図

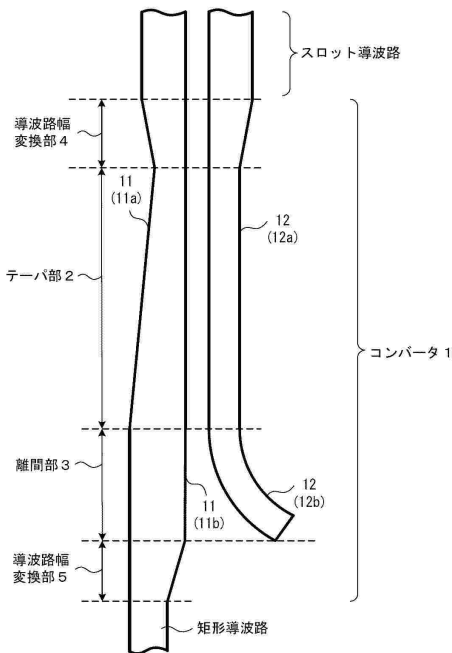


10

20

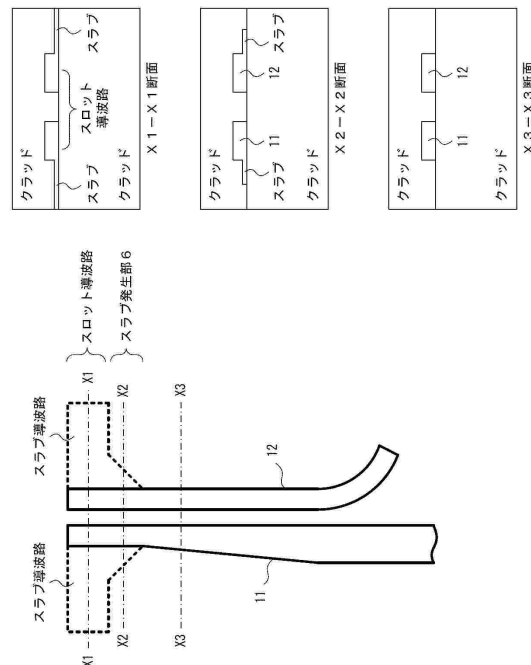
【図 1 5】

導波路の幅を変換する機能を備えるコンバータの一例を示す図



【図 1 6】

スロット導波路がスラブを有するときのコンバータの構成の一例を示す図



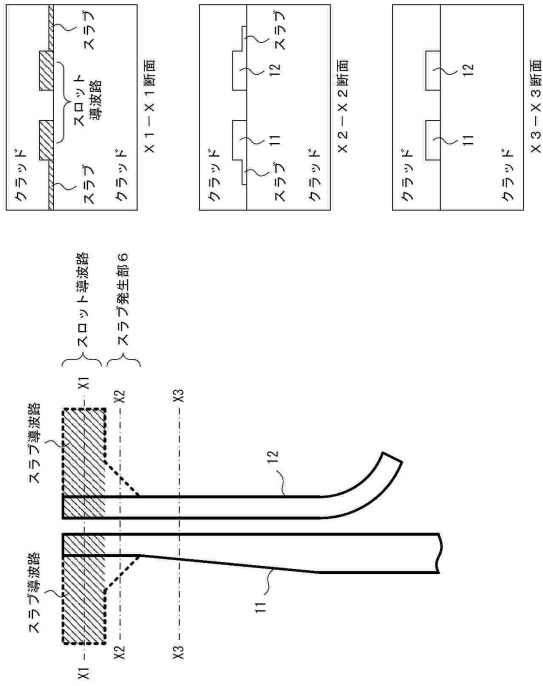
30

40

50

【図 17】

キャリアがドーピングされたスロット導波路と矩形導波路とを結合するコンバータの一例を示す図



10

20

30

40

50

フロントページの続き

番1号 富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社内

審査官 山本 元彦

- (56)参考文献 特開2020-042225(JP,A)
特開平11-352345(JP,A)
国際公開第2016/052343(WO,A1)
米国特許出願公開第2019/0067830(US,A1)
特表2017-504830(JP,A)
PALMER, R. et al., Low-Loss Silicon Strip-to-Slot Mode Converters, IEEE Photonics Journal
, 2013年02月, Vol. 5, No. 1, pp.2200409-1 - 2200409-9
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 6/12 - 6/14
G02F 1/00 - 1/125
G02F 1/21 - 7/00
JSTPlus/JSTChina/JST7580(JDreamIII)