

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02014/034654

発行日 平成28年8月8日 (2016.8.8)

(43) 国際公開日 平成26年3月6日 (2014.3.6)

(51) Int.Cl.

G02F 1/035 (2006.01)

F1

G02F 1/035

テーマコード (参考)

2K102

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 52 頁)

出願番号 特願2014-533016 (P2014-533016)
 (21) 国際出願番号 PCT/JP2013/072848
 (22) 国際出願日 平成25年8月27日 (2013.8.27)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-186852 (P2012-186852)
 (32) 優先日 平成24年8月27日 (2012.8.27)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 504145342
 国立大学法人九州大学
 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号
 (74) 代理人 100099634
 弁理士 平井 安雄
 (72) 発明者 ▲浜▼本 貴一
 福岡県福岡市東区箱崎6丁目10番1号
 国立大学法人九州大学内
 Fターム(参考) 2K102 AA18 BA02 BB07 BC05 BD01
 CA20 CA28 DA05 DB04 DC07
 DC08 DD03 EA02 EA16

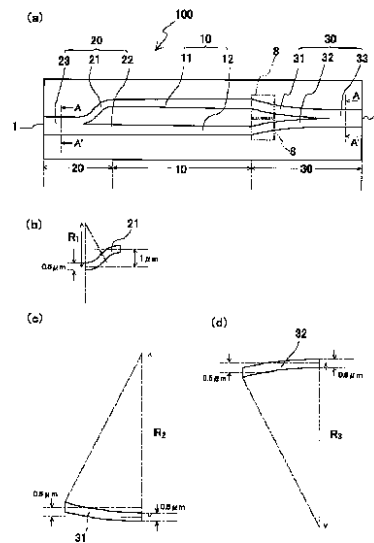
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モード間光スイッチ

(57) 【要約】

光スイッチの小型化を図ることができるモード間光スイッチを提供するものである。モード間光スイッチ100は、単一の入力ポート1と、単一の出力ポート2と、当該入力ポート1及び出力ポート2間に並設される2本の導波路10と、導波路の屈折率を変化させる屈折率変化手段8と、を備え、屈折率変化手段8により変化した屈折率に応じて、入力ポート1に入力された任意のモード光を出力ポート2から任意のモード光として出力する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

単一の入力ポートと、単一の出力ポートと、当該入力ポート及び出力ポート間に配設されるモード変換手段と、を備え、

前記モード変換手段が、前記入力ポートから入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力することを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 2】

前記請求項 1 に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートから入力されたモード光を分岐する光分岐導波路と、

10

前記光分岐導波路の後段に配設され、導波路の屈折率を変化させる屈折率変化手段と、

前記屈折率変化手段の後段に配設され、前記光分岐導波路で分岐されたモード光を結合して前記出力ポートから出力する光合波導波路と、

を備え、

前記屈折率変化手段により変化させた屈折率に応じて、前記入力ポートに入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力することを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 3】

前記請求項 2 に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記モード変換手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路を備え、

20

前記光分岐導波路が、前記入力ポート及び 2 本の導波路間に配設される Y 分岐導波路であり、

前記光合波導波路が、前記出力ポート及び 2 本の導波路間に配設される合流導波路であり、

前記屈折率変化手段が、前記 2 本の導波路、又は、前記合流導波路の合流する導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 4】

前記請求項 3 に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路が、直線状導波路であり、前記 Y 分岐導波路が、分岐する 2 本の導波路を平面視において導波路幅を異にする非対称の平面形状とし、

30

前記合流導波路が、合流する 2 本の導波路を平面視において対称の平面形状とし、

前記屈折率変化手段が、前記合流導波路の合流する 2 本の導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 5】

前記請求項 3 に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路が、直線状導波路であり、

前記 Y 分岐導波路が、分岐する 2 本の導波路を平面視において対称の平面形状とし、

前記合流導波路が、合流する 2 本の導波路を平面視において対称の平面形状とし、

40

前記屈折率変化手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路のうち、少なくとも一方に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 6】

前記請求項 2 に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記モード変換手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路を備え、

前記光分岐導波路が、前記入力ポート及び 2 本の導波路間に配設される 1 × 2 型多モード光干渉導波路であり、

前記光合波導波路が、前記出力ポート及び 2 本の導波路間に配設される 2 × 1 型多モード光干渉導波路であり、

50

前記屈折率変化手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される2本の導波路のうち、少なくとも一方に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項7】

前記請求項2に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記モード変換手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される2本の導波路を備え、

前記光分岐導波路が、前記入力ポート及び2本の導波路間に配設される1×2型多モード光干渉導波路であり、

前記光合流導波路が、前記出力ポート及び2本の導波路間に配設される合流導波路であり、

10

前記屈折率変化手段が、前記2本の導波路、又は、前記合流導波路の合流する導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項8】

前記請求項1に記載のモード間光スイッチにおいて、

0次モード光乃至 $2^n - 1$ 次モード光(n は2以上の整数)である 2^n 種類のモード光を対象とし、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートに接続され、モード光を2つに分岐するY分岐導波路が一又は複数配設される入力段領域と、

前記出力ポートに接続され、2つのモード光を結合する合流導波路が一又は複数配設される出力段領域と、

20

前記入力段領域及び出力段領域間に配設され、0次モード光を伝搬させる 2^n 本の導波路が並設される基準領域と、

前記基準領域の前段に配設され、前記基準領域における最外側の2本の導波路にそれぞれ接続される2本の導波路と、前記基準領域における最外側の2本の導波路を除く隣り合う2本の導波路に分岐する $2^{n-1} - 1$ 本のY分岐導波路に接続される $2^{n-1} - 1$ 本の導波路と、が並設される前段領域と、

前記前段領域の前段に配設され、前記前段領域における $2^{n-1} - 1$ 本の導波路に結合する $2^{n-1} - 1$ 本の合流導波路と当該 $2^{n-1} - 1$ 本の合流導波路の結合前の $2^n - 2$ 本の導波路及び前記前段領域における最外側の2本の導波路にそれぞれ接続される2本の導波路のうち隣り合う 2^n 本の導波路に分岐する 2^{n-1} 本のY分岐導波路とを介して、 2^{n-1} 本の導波路が並設される前々段領域と、

30

前記基準領域の後段に配設され、前記基準領域における隣り合う2本の導波路を結合する 2^{n-1} 本の合流導波路に接続される 2^{n-1} 本の導波路が並設される後段領域と、

前記基準領域における最外側の1本の導波路を除く $2^n - 1$ 本の導波路、前記前段領域における最外側の2本の導波路を除く $2^{n-1} - 1$ 本の導波路、前記基準領域で除いた最外側の1本の導波路を経路としない前記前々段領域における最外側の1本の導波路を除く $2^{n-1} - 1$ 本の導波路、及び、前記基準領域で除いた最外側の1本の導波路を経路としない前記後段領域における最外側の1本の導波路を除く $2^{n-1} - 1$ 本の導波路に配設され、当該導波路の屈折率を変化させる屈折率変化手段と、

40

を備え、

前記屈折率変化手段により変化させた屈折率に応じて、前記入力ポートに入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力することを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項9】

前記請求項8に記載のモード間光スイッチにおいて、

0次モード光乃至3次モード光である4種類のモード光を対象とし、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートから入力されるモード光を2つに分岐する第1Y分岐導波路と、

前記第1Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第2

50

Y分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第3 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光及び前記第3 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第1合流導波路と、

前記第1合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第4 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第4 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第2合流導波路と、

前記第3 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第4 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を結合する第3合流導波路と、

前記第2合流導波路から入力されるモード光及び前記第3合流導波路から入力されるモード光を結合して前記出力ポートから出力する第4合流導波路と、

を備え、

前記屈折率変化手段が、前記第1 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、前記第1合流導波路及び第4 Y分岐導波路間の導波路、前記第4 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第3 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、並びに、前記第3合流導波路及び第4合流導波路間の導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項10】

前記請求項8に記載のモード間光スイッチにおいて、

0次モード光乃至7次モード光である8種類のモード光を対象とし、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートから入力されるモード光を2つに分岐する第1 Y分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第2 Y分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第3 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第4 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第5 Y分岐導波路と、

前記第3 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第6 Y分岐導波路と、

前記第3 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第7 Y分岐導波路と、

前記第4 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光及び前記第5 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第1合流導波路と、

前記第5 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第6 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第2合流導波路と、

前記第6 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第7 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第3合流導波路と、

前記第1合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第8 Y分岐導波路と、

前記第2合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第9 Y分岐導波路と、

前記第3合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第10 Y分岐導波路と、

前記第4 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第8 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第4合流導波路と、

前記第8 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第9 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第5合流導波路と、

前記第9 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第10 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第6合流導波路と、

前記第7 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第10 Y分岐

10

20

30

40

50

導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を結合する第7合流導波路と、

前記第4合流導波路から入力されるモード光及び前記第5合流導波路から入力されるモード光を結合する第8合流導波路と、

前記第6合流導波路から入力されるモード光及び前記第7合流導波路から入力されるモード光を結合する第9合流導波路と、

前記第8合流導波路から入力されるモード光及び前記第9合流導波路から入力されるモード光を結合して前記出力ポートから出力する第10合流導波路と、

を備え、

前記屈折率変化手段が、前記第2 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、前記第3 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第1合流導波路及び第8 Y分岐導波路間の導波路、前記第2合流導波路及び第9 Y分岐導波路間の導波路、前記第3合流導波路及び第10 Y分岐導波路間の導波路、前記第8 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第9 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第10 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第7 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、前記第5合流導波路及び第8合流導波路間の導波路、前記第6合流導波路及び第9合流導波路間の導波路、並びに、前記第7合流導波路及び第9合流導波路間の導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、任意のモード光を任意のモード光に変換するモード間光スイッチに関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来空間光スイッチは、光信号を入力させる入力導波路と、アレイ導波路に光信号を分配するためのスラブ導波路と、屈折率を変化させるために電流注入または電圧印加を行なうための三角形の電極を装備されたアレイ導波路と、アレイ導波路からの出力光を出力導波路に結合させるためのスラブ導波路と、光信号を出力する複数の出力導波路から構成される（例えば、特許文献1参照）。

この従来空間光スイッチは、一つの波長の入力光信号を電極へ印加する制御信号により空間的に振り分けるための出力導波路を複数並列に配設したものであり、一つの波長の信号を異なる出力導波路へ結合させるものである。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002-72157号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来空間光スイッチは、複数の出力導波路の各出力導波路に1本の光ファイバを光学的にそれぞれ接続するために、光ファイバの直径（隣り合う光ファイバ間のピッチ）に依存して、隣り合う出力導波路間の間隔を広げる必要があり、空間光スイッチの小型化が図れないうえに、出力導波路の数が限られ、大規模集積ができないという課題がある。

40

【0005】

これに対し、近年の情報通信量の増大を背景に、将来の大容量化手段の一つとして、モード多重伝送技術が注目されている。

光スイッチは、このモード多重伝送技術を利用すれば、光スイッチの前後に接続するモード変換デバイスにより空間位置情報をモード情報に変換した上で、モードを切り換えるスイッチとして機能し、1本の入力導波路及び1本の出力導波路で済むことになり、光スイッチの小型化を図ることができる。

【0006】

50

このように、任意のモード光を任意のモード光に変換する光スイッチ（モード間光スイッチ）は、モード多重伝送への応用が期待できると共に、モード情報と空間位置情報とを対応させることで、光スイッチ（入力導波路、出力導波路）の端部に結合すべき光学部品点数の削減等、将来の高集積空間光スイッチへの応用も期待される。

しかしながら、モード間光スイッチは、開発段階であり、製品として存在しないのが現状である。

【0007】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、光スイッチの小型化を図ることができるモード間光スイッチを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係るモード間光スイッチにおいては、単一の入力ポートと、単一の出力ポートと、当該入力ポート及び出力ポート間に配設されるモード変換手段と、を備え、モード変換手段が、入力ポートから入力された任意のモード光を出力ポートから任意のモード光として出力するものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明に係るモード間光スイッチにおいては、光スイッチの小型化を図ると共に、任意のモード光を任意のモード光に変換することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】(a)は第1の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b)は図1(a)に示す第1の分岐導波路の寸法を説明するための説明図であり、(c)は図1(a)に示す第1の合流導波路の寸法を説明するための説明図であり、(d)は図1(a)に示す第2の合流導波路の寸法を説明するための説明図である。

【図2】(a)は図1(a)に示す第1の合流導波路における屈折率変化手段の拡大図であり、(b)は図1(a)に示す第2の合流導波路における屈折率変化手段の拡大図であり、(c)は図2(a)及び図2(b)に示す屈折率変化手段の矢視B-B'線の断面図であり、(d)は図1(a)に示すモード間光スイッチの矢視A-A'線の断面図である。

【図3】図1に示すモード間光スイッチの製造方法を説明するための図2(c)に対応する断面図である。

【図4】図3に示すモード間光スイッチの製造方法の続きを説明するための断面図である。

【図5】図4に示すモード間光スイッチの製造方法の続きを説明するための断面図である。

【図6】図1に示すモード間光スイッチの製造方法を説明するための図2(d)に対応する断面図である。

【図7】図6に示すモード間光スイッチの製造方法の続きを説明するための断面図である。

【図8】図7に示すモード間光スイッチの製造方法の続きを説明するための断面図である。

【図9】図1(a)に示す屈折率変化領域の屈折率変化量 N_1 , N_2 と0次モード光及び1次モード光の透過度との関係を示すグラフであり、(a)は0次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N_1 と透過度との関係を示すグラフであり、(b)は0次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N_2 と透過度との関係を示すグラフであり、(c)は1次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N_1 と透過度との関係を示すグラフであり、(d)は1次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N_2 と透過度との関係を示すグラフである。

【図10】図1に示すモード間光スイッチの動作シミュレーション図であり、(a)は0

10

20

30

40

50

次モード光を入力して屈折率変化量 N_1 を -0.017 とした場合の光フィールドを示す説明図であり、(b) は 0 次モード光を入力して屈折率変化量 N_2 を -0.023 とした場合の光フィールドを示す説明図であり、(c) は 1 次モード光を入力して屈折率変化量 N_1 を -0.017 とした場合の光フィールドを示す説明図であり、(d) は 1 次モード光を入力して屈折率変化量 N_2 を -0.023 とした場合の光フィールドを示す説明図である。

【図 1 1】(a) は第 2 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b) は図 1 1 (a) に示す第 1 の分岐導波路の寸法を説明するための説明図であり、(c) は図 1 1 (a) に示す第 2 の直線状導波路における屈折率変化手段の拡大図である。

【図 1 2】図 1 1 (a) に示す屈折率変化領域の屈折率変化量 N と 0 次モード光及び 1 次モード光の出力との関係を示すグラフであり、(a) は 0 次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N と出力との関係を示すグラフであり、(b) は 1 次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N と出力との関係を示すグラフである。

【図 1 3】図 1 1 に示すモード間光スイッチの動作シミュレーション図であり、(a) は 0 次モード光を入力して屈折率変化量 N を 0 とした場合の光フィールドを示す説明図であり、(b) は 0 次モード光を入力して屈折率変化量 N を -0.0039 とした場合の光フィールドを示す説明図であり、(c) は 1 次モード光を入力して屈折率変化量 N を 0 とした場合の光フィールドを示す説明図であり、(d) は 1 次モード光を入力して屈折率変化量 N を -0.0039 とした場合の光フィールドを示す説明図である。

【図 1 4】(a) は第 3 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b) は図 1 4 (a) に示す第 3 の直線状導波路における屈折率変化手段の拡大図であり、(c) は図 1 4 (a) に示す 2×1 型 MMI 導波路の矢視 C - C' 線の断面図である。

【図 1 5】(a) は第 4 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b) は図 1 5 (a) に示す第 2 の直線状導波路における屈折率変化手段の拡大図であり、(c) は図 1 5 (a) に示す 1×2 型 MMI 導波路の矢視 D - D' 線の断面図である。

【図 1 6】(a) は第 5 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b) は図 1 6 (a) に示すモード間光スイッチのモードスイッチングの一例を説明するための説明図であり、(c) は第 5 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の他の一例を示す平面図である。

【図 1 7】図 1 6 (a) に示すモード間光スイッチにおけるビーム伝搬法シミュレーションによる 0 次モード光から他のモードに変換した様子(光フィールド)を示す説明図であり、(a) は 0 次モード光を入力して 0 次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図であり、(b) は 0 次モード光を入力して 1 次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図であり、(c) は 0 次モード光を入力して 2 次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図であり、(d) は 0 次モード光を入力して 3 次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図である。

【図 1 8】(a) は第 6 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b) は第 6 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の他の一例を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

(本発明の第 1 の実施形態)

モード間光スイッチ 100 は、単一の入力ポート 1 と、単一の出力ポート 2 と、当該入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に配設されるモード変換手段 101 (不図示) と、を備える。

【0012】

また、モード変換手段 101 は、入力ポート 1 から入力されたモード光を分岐する光分

10

20

30

40

50

岐導波路 20a (不図示) と、光分岐導波路 20a の後段に配設され、導波路の屈折率を変化させる屈折率変化手段 8 と、屈折率変化手段 8 の後段に配設され、光分岐導波路 20a で分岐されたモード光を結合して出力ポート 2 から出力する光合波導波路 30a (不図示) と、を備える。

【0013】

なお、以下の説明では、光分岐導波路 20a が後段に 2 本の導波路を有する Y 字導波路であり、光合波導波路 30a が前段に 2 本の導波路を有する Y 字導波路である場合を例に挙げて説明するが、光分岐導波路 20a 及び光合波導波路 30a 間の導波路は 2 本の導波路に限られるものではなく、光分岐導波路 20a が後段に 3 本以上の導波路を有し、光合波導波路 30a が前段に 3 本以上の導波路を有してもよい。

10

【0014】

モード間光スイッチ 100 は、単一の入力ポート 1 と、単一の出力ポート 2 と、当該入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に並設される 2 本の導波路 10 と、PIN (p-intrinsic-n) ダイオード構造によるキャリア注入により導波路の屈折率を変化させる屈折率変化手段 8 を備え、入力ポート 1 に任意のモード光が入力され、出力ポート 2 から任意のモード光が出力されるものである。

【0015】

なお、本実施形態に係るモード間光スイッチ 100 は、図 1 (a) に示すように、入力ポート 1 及び 2 本の導波路 10 間に配設され、入力ポート 1 から入射したモード光を 2 つに分岐する Y 分岐導波路 20 と、出力ポート 2 及び 2 本の導波路 10 間に配設され、Y 分岐導波路 20 により分岐されたモード光を結合して出力ポート 2 側に出射する合流導波路 30 と、をさらに備える。

20

【0016】

特に、本実施形態に係る 2 本の導波路 10 は、Y 分岐導波路 20 の導波路幅と合流導波路 30 の導波路幅との違いに伴い、導波路幅が漸次変化したテーパ状の直線状導波路 (第 1 の直線状導波路 11、第 2 の直線状導波路 12) である。

具体的には、第 1 の直線状導波路 11 は、光の導波方向に沿った導波路の長さ (以下、「導波路長」と称す) が $450\ \mu\text{m}$ であると共に、Y 分岐導波路 20 に結合する一端の導波路幅が $0.5\ \mu\text{m}$ であり、合流導波路 30 に結合する他端の導波路幅が $0.6\ \mu\text{m}$ である。

30

また、第 2 の直線状導波路 12 は、導波路長が $450\ \mu\text{m}$ であると共に、Y 分岐導波路 20 に結合する一端の導波路幅が $0.7\ \mu\text{m}$ であり、合流導波路 30 に結合する他端の導波路幅が $0.6\ \mu\text{m}$ である。

【0017】

また、本実施形態に係る Y 分岐導波路 20 は、図 1 (a) に示す平面視において、分岐する 2 本の導波路 (第 1 の分岐導波路 21、第 2 の分岐導波路 22) が非対称の平面形状 (非対称な Y 字導波路) である。

具体的には、Y 分岐導波路 20 のうち分岐する 2 本の導波路 (第 1 の分岐導波路 21、第 2 の分岐導波路 22) を除く領域 (以下、「分岐前導波路 23」と称す) は、導波路長が $200\ \mu\text{m}$ であり、導波路幅が $1.2\ \mu\text{m}$ の直線状導波路である。

40

また、第 1 の分岐導波路 21 は、図 1 (b) に示すように、導波路幅が $0.5\ \mu\text{m}$ であると共に、分岐前導波路 23 に結合する一端におけるコアの中心と第 1 の直線状導波路 11 に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が $1\ \mu\text{m}$ であり、曲率半径 R_1 が $5625.25\ \mu\text{m}$ である略 S 字の曲線状導波路である。

また、第 2 の分岐導波路 22 は、導波路長が $150\ \mu\text{m}$ であり、導波路幅が $0.7\ \mu\text{m}$ である直線状導波路である。

【0018】

また、本実施形態に係る合流導波路 30 は、図 1 (a) に示す平面視において、合流する 2 本の導波路 (第 1 の合流導波路 31、第 2 の合流導波路 32) が対称の平面形状 (対称な Y 字導波路) である。

50

具体的には、合流導波路30のうち合流する2本の導波路(第1の合流導波路31、第2の合流導波路32)を除く領域(以下、「合流後導波路33」と称す)は、導波路長が200 μm であり、導波路幅が1.2 μm の直線状導波路である。

また、第1の合流導波路31は、図1(c)に示すように、導波路幅が0.6 μm であると共に、第1の直線状導波路11に結合する一端におけるコアの中心と合流後導波路33に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が0.5 μm であり、曲率半径 R_2 が90000.25 μm である、内側(合流導波路30の中心側)に湾曲する曲線状導波路である。

また、第2の合流導波路32は、図1(d)に示すように、導波路幅が0.6 μm であると共に、第2の直線状導波路12に結合する一端におけるコアの中心と合流後導波路33に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が0.5 μm であり、曲率半径 R_3 が90000.25 μm である、内側(合流導波路30の中心側)に湾曲する曲線状導波路である。

10

【0019】

さらに、本実施形態に係る屈折率変化手段8は、合流導波路30の合流する2本の導波路(第1の合流導波路31、第2の合流導波路32)に配設される。

【0020】

また、モード間光スイッチ100は、図2(c)及び図2(d)に示すように、基板110(例えば、SOI(silicon on insulator)基板のSi基板)上に積層された第1のクラッド層120(例えば、SOI基板のSiO₂層)と、第1のクラッド層120上に積層され、第1のクラッド層120の屈折率よりも屈折率が高い真性(i型)半導体領域131を含む半導体層130(例えば、SOI基板のSi層)と、半導体層130上に積層され、半導体層130の屈折率よりも屈折率が低い第2のクラッド層140(例えば、SiO₂層)と、を備える。

20

【0021】

また、屈折率変化手段8は、図2(a)及び図2(b)並びに図2(c)に示すように、半導体層130の真性半導体領域131に不純物を添加してなるp型半導体領域132及びn型半導体領域133を真性半導体領域131と共に導波方向に沿って並設してpin接合を構成する屈折率変化領域3と、屈折率変化領域3のp型半導体領域132に電圧を印加するための第1の電極4aと、屈折率変化領域3のn型半導体領域133に電圧を印加するための第2の電極4bと、p型半導体領域132及び第1の電極4aを電氣的に接続する第1の接続部5aと、n型半導体領域133及び第2の電極4bを電氣的に接続する第2の接続部5bと、を備える。

30

【0022】

屈折率変化領域3は、第1の電極4a及び第1の接続部5a並びに第2の電極4b及び第2の接続部5bを介してpin接合に順方向の電圧が印加されると、キャリア(電子及びホール)が真性半導体領域131に供給され、このキャリアのプラズマ効果により真性半導体領域131の屈折率が変化する。

【0023】

なお、本実施形態に係る屈折率変化領域3の半導体層130は、Siを真性半導体とする真性半導体領域131と、真性半導体のSiに不純物としてボロン(B)を添加したp型半導体領域132と、真性半導体のSiに不純物として燐(P)を添加したn型半導体領域133とからなる。

40

【0024】

また、屈折率変化領域3は、真性半導体領域131がp型半導体領域132及びn型半導体領域133とのそれぞれの境界において導波方向に延在する2つの溝(トレンチ3a)を有する構造である。

特に、屈折率変化領域3のトレンチ3aの幅(以下、「トレンチ幅 W_t 」と称す)は、波長オーダー若しくはそれ以下にすること(以下、「狭窄トレンチ構造」と称す)により、狭いパターンほどエッチング深さが浅くなり、周囲に比べてエッチング量が抑制される

50

効果（RIEラグ：reactive ion etching lag）を利用し、オーバーエッチングを抑制することができる。

【0025】

また、屈折率変化領域3における真性半導体領域131は、導波路になるリブ部131aと、リブ部131aの膜厚（エッチングされないSi層の膜厚、以下、「Si層全厚d」と称す）よりも膜厚（エッチングされたSi層の膜厚、以下、「Si層残厚 T_{Si} 」と称す）が薄く、導波方向に沿ってリブ部131aの両側に並設されるスラブ部131bと、を備える。なお、本実施形態に係るリブ部131aは、図1(a)に示す2本の導波路（第1の合流導波路31、第2の合流導波路32）の一部になる。

【0026】

また、p型半導体領域132及びn型半導体領域133全体の膜厚は、真性半導体領域131のスラブ部131bの膜厚（Si層残厚 T_{Si} ）よりも厚い。

【0027】

つぎに、モード間光スイッチ100の製造方法について、図3乃至図8を用いて説明する。なお、2本の導波路10（第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12）及びY分岐導波路20（第1の分岐導波路21、第2の分岐導波路21）の製造工程を示す断面図は、2本の導波路10（第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12）及びY分岐導波路20（第1の分岐導波路21、第2の直線状導波路12）と、分岐前導波路23及び合流導波路30とが、導波路幅が異なるだけで、製造工程は同一であるので、図示を省略する。

【0028】

まず、SOI基板（Si基板（基板110）、 SiO_2 層（第1のクラッド層120）、Si層（半導体層130））の半導体層130上にフォトリソグラフィ法を用いて、図1(a)に示す導波領域（2本の導波路10、Y分岐導波路20及び合流導波路30）と図2(a)及び図2(b)に示す屈折率変化領域3におけるスラブ部131bを除く領域（真性半導体領域131のリブ部131a並びにp型半導体領域132及びn型半導体領域133）との平面形状に合わせて、半導体層130上にエッチング用のマスク161を形成する（図3(a)、図6(a)）。

【0029】

このマスク161を用いて、RIE（反応性イオンエッチング）法によりドライエッチングを施して、図1(a)に示す非導波領域並びに図2(a)及び図2(b)に示すスラブ部131bとなる半導体層130における不要な部分を部分的（マスク161が形成されていない部分のみ）に除去し、導波領域のコア層及びトレンチ3aを形成する（図3(b)、図6(b)）。

この場合に、図2(a)及び図2(b)に示すスラブ部131bにおけるマスク161の開口部分は、波長オーダー若しくはそれ以下であり、図1(a)に示す非導波領域におけるマスク161の開口部分に対して、極端に狭いため、RIEラグ効果により、非導波領域におけるドライエッチングが終了しても、スラブ部131bとして半導体層130が残る（オーバーエッチングを抑制する）ことになる。

その後、半導体層130上にあるマスク161を、有機溶剤及びアッシング法により除去する（図3(c)、図6(c)）。

【0030】

このように、マスク161のみを用いることにより、p型半導体領域132及びn型半導体領域133となる半導体層130の膜厚は、真性半導体領域131のリブ部131aとなる半導体層130の膜厚（Si層全厚d）と略同一になる。

【0031】

なお、真性半導体領域131のリブ部131aとなる半導体層130の膜厚（Si層全厚d）に対して、p型半導体領域132及びn型半導体領域133となる半導体層130の膜厚を薄くする場合には、真性半導体領域131のスラブ部131bとなる半導体層130（Si層残厚 T_{Si} ）が、少なくとも $0.01\mu m$ 以上になるように、p型半導体領

10

20

30

40

50

域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 となる半導体層 1 3 0 の膜厚を制御する必要がある。

【 0 0 3 2 】

そして、露出した第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上にフォトレジストを塗布し、ステッパによるフォトリソグラフィ法を用いて、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示す、p 型半導体領域 1 3 2 を除く領域の平面形状に合わせて、露出した第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上にドーパント用のマスク 1 6 2 を形成し、開口部分の半導体層 1 3 0 に p 型ドーパント (例えば、ボロン) をイオン注入する (図 3 (d) 、図 6 (d)) 。その後、第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上にあるマスク 1 6 2 を、有機溶剤及びアッシング法により除去する (図 3 (e) 、図 6 (e)) 。

【 0 0 3 3 】

その後、露出した第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上にフォトレジストを塗布し、ステッパによるフォトリソグラフィ法を用いて、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示す、n 型半導体領域 1 3 3 を除く領域の平面形状に合わせて、露出した第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上にドーパント用のマスク 1 6 3 を形成し、開口部分の半導体層 1 3 0 に n 型ドーパント (例えば、燐) をイオン注入する (図 3 (f) 、図 6 (f)) 。

【 0 0 3 4 】

そして、第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上にあるマスク 1 6 3 を有機溶剤及びアッシング法により除去して、不純物を活性化する熱処理を行ない、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 を形成する (図 4 (a) 、図 7 (a)) 。この場合に、半導体層 1 3 0 のうち p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 を除く領域が真性半導体領域 1 3 1 になり、屈折率変化領域 3 における真性半導体領域 1 3 1 は、リブ部 1 3 1 a 及びスラブ部 1 3 1 b を備えることになる。

【 0 0 3 5 】

その後、露出した第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上に膜厚 1 μ m 程のフォトレジストを塗布し、ステッパによるフォトリソグラフィ法を用いて、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示す、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 を除く領域の平面形状に合わせて、エッチング用のマスク 1 6 4 を形成する (図 4 (b) 、図 7 (b)) 。

【 0 0 3 6 】

そして、電子ビーム蒸着法又はスパッタリングを用いて、第 1 の接続部 5 a 及び第 2 の接続部 5 b の一部となる金属 (T i (チタン) / A l (アルミニウム)) を、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 並びにマスク 1 6 4 上に堆積させて、第 1 の金属層 1 5 1 を形成する (図 4 (c) 、図 7 (c)) 。

【 0 0 3 7 】

その後、第 1 のクラッド層 1 2 0 及び真性半導体領域 1 3 1 上にあるマスク 1 6 4 を有機溶剤により除去し、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 を除く領域にある第 1 の金属層 1 5 1 を除去 (リフトオフ) して、膜厚 5 0 n m 程の T i 層及び膜厚 1 0 0 n m 程の A l 層からなる第 1 の接続部 5 a 及び第 2 の接続部 5 b の一部を形成する (図 4 (d) 、図 7 (d)) 。

【 0 0 3 8 】

その後、化学気相成長 (Chemical Vapor Deposition : C V D) 法を用いて、露出した第 1 のクラッド層 1 2 0 及び半導体層 1 3 0 上に S i O ₂ 膜を堆積させて、第 2 のクラッド層 1 4 0 を形成する (図 4 (e) 、図 7 (e)) 。

【 0 0 3 9 】

そして、第 2 のクラッド層 1 4 0 上にフォトレジストを塗布し、ステッパによるフォトリソグラフィ法を用いて、第 1 の接続部 5 a 及び第 2 の接続部 5 b としてのコンタクトホール 5 を形成するために当該コンタクトホール 5 を除く領域の平面形状に合わせて、第 2 のクラッド層 1 4 0 上にエッチング用のマスク 1 6 5 を形成する (図 5 (a) 、図 8 (a)) 。

【 0 0 4 0 】

このマスク 1 6 5 を用いて、R I E 法によりドライエッチングを施して、第 2 のクラッ

10

20

30

40

50

ド層 140 におけるコンタクトホール 5 となる部分を部分的に除去し、コンタクトホール 5 を形成する (図 5 (b)、図 8 (b))。その後、第 2 のクラッド層 140 上にあるマスク 165 を、有機溶剤及びアッシング法により除去する (図 5 (c)、図 8 (c))。

【 0041】

そして、電子ビーム蒸着法を用いて、第 1 の接続部 5 a 及び第 2 の接続部 5 b の一部並びに第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b となる金属 (Ti / Al) をコンタクトホール 5 内及び第 2 のクラッド層 140 上に堆積させて、第 2 の金属層 152 を形成する (図 5 (d)、図 8 (d))。

【 0042】

その後、第 2 の金属層 152 上にフォトリソグラフィ法を用いて、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示す、第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b の平面形状に合わせて、第 2 の金属層 152 上にエッチング用のマスク 166 を形成する (図 5 (e)、図 8 (e))。

【 0043】

このマスク 166 を用いて、イオンミリング法によりドライエッチングを施して、第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b を除く領域にある第 2 の金属層 152 を除去し (図 5 (f)、図 8 (f))、第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b 上にあるマスク 166 を有機溶剤及びアッシング法により除去して、第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b を形成する (図 2 (c)、図 2 (d))。

【 0044】

最後に、複数のモード間光スイッチ 100 素子が形成された基板 110 に対して、モード間光スイッチ 100 素子間の境界に沿って劈開することで、図 1 及び図 2 に示す構造を有するモード間光スイッチ 100 素子を得ることができる。なお、この劈開により、モード間光スイッチ 100 素子の後方端面 (入力ポート 1) 及び前方端面 (出力ポート 2) がそれぞれ形成される。

【 0045】

なお、本実施形態に係る製造方法においては、半導体層のエッチング方法として R I E 法を用いているが、I C P (Inductively Coupled Plasma : 誘導結合プラズマ) 法やウェットエッチング法であっても適用可能である。また、本実施形態に係る製造方法においては、金属層のエッチング方法としてイオンミリング法を用いているが、ウェットエッチング法であっても適用可能である。

また、本実施形態に係る製造方法においては、フォトリソグラフィ法にステップを用いているが、必ずしもこれに限られるわけではなく、例えば、電子ビーム露光装置であっても適用可能である。

【 0046】

つぎに、モード間光スイッチ 100 の動作について、図 1 (a)、図 9 及び図 10 を用いて説明する。

モード間光スイッチ 100 の入力ポート 1 に入射されたモード光は、Y 分岐導波路 20 の分岐前導波路 23 に入射する。

【 0047】

ここで、導波路の構造が緩やかに変化するとき、各々のモードの電力は保存され、これを断熱過程という。また、断熱過程が成立するとき、断熱条件を満たしているという。

Y 分岐導波路 20 は、導波路構造が緩やかに変化しているので、断熱条件を満たしており、モードソーティングを行なう。

【 0048】

すなわち、入力ポート 1 から 0 次モード光を入射すると、0 次モード光が Y 分岐導波路 20 の太い導波路 (第 2 の分岐導波路 22) に伝搬する。

また、入力ポート 1 から 1 次モード光を入射すると、1 次モード光が Y 分岐導波路 20 の細い導波路 (第 1 の分岐導波路 21) に 0 次モード光に切り換わったうえで伝搬する。

【 0049】

10

20

30

40

50

なお、分岐前導波路 2 3 に存在するモードと第 1 の分岐導波路 2 1 及び第 2 の分岐導波路 2 2 に存在するモードとは、伝搬定数（透過屈折率）が大きいものから順番に 1 対 1 で結合するため、モードソーティングと呼ばれる。

【0050】

そして、モード間光スイッチ 1 0 0 の入力ポート 1 に入射されたモード光が 0 次モード光である場合に、0 次モード光は、Y 分岐導波路 2 0 の第 2 の分岐導波路 2 2 側に進み、第 2 の直線状導波路 1 2 を伝搬し、合流導波路 3 0 の第 2 の合流導波路 3 2 に入射する。

【0051】

また、モード間光スイッチ 1 0 0 の入力ポート 1 に入射されたモード光が 1 次モード光である場合に、1 次モード光は、第 1 の分岐導波路 2 1 側に進んで 0 次モード光に切り換わり、第 1 の直線状導波路 1 1 を伝搬し、合流導波路 3 0 の第 1 の合流導波路 3 1 に入射する。

10

【0052】

この状態において、モード間光スイッチ 1 0 0 の第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加すると、p 型半導体領域 1 3 2、真性半導体領域 1 3 1 及び n 型半導体領域 1 3 3 からなる p i n 接合が順バイアスされる。

これにより、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 から真性半導体領域 1 3 1 であるリブ部 1 3 1 a にキャリアが供給され、供給されたキャリアはリブ部 1 3 1 a に蓄積されて、キャリアのプラズマ効果により、リブ部 1 3 1 a の屈折率を変化させることができる。

20

【0053】

ここで、図 1 (a) に示すモード間光スイッチ 1 0 0 においては、入力ポート 1 に入力されたモード光を屈折率変化手段 8 により他のモード光に変換する場合又は無変換とする場合に、不要なモード成分が発生する。

このため、必要なモード成分に対する不要なモード成分の比（モード間クロストーク）を抑制する必要がある。

【0054】

そこで、図 9 に示す、第 1 の合流導波路 3 1 に配設された屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 における屈折率の変化量 N_1 及び第 2 の合流導波路 3 2 に配設された屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 における屈折率の変化量 N_2 と、0 次モード光又は 1 次モード光の入力に対する 0 次モード光又は 1 次モード光の透過度との関係に基づき、屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 に適切な屈折率変化量 N_1 、 N_2 を与えることが考えられる。

30

【0055】

すなわち、モード間光スイッチ 1 0 0 は、入力ポート 1 に入射されたモード光が 0 次モード光である場合に、図 9 (a) に示すように、第 1 の合流導波路 3 1 における屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 の屈折率変化量 N_1 を -0.017 とし、第 2 の合流導波路 3 2 における屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 の屈折率変化量 N_2 を 0 とすることにより、0 次モード光のまま透過させ、図 10 (a) に示すように、合流導波路 3 0 の合流後導波路 3 3 を介して出力ポート 2 から 0 次モード光を出射させることができる。この場合には、図 9 (a) に示すように、必要なモード成分（0 次モード光）に対する不要なモード成分（1 次モード光）の比であるモード間クロストークは、 29.2 dB である。

40

【0056】

また、モード間光スイッチ 1 0 0 は、入力ポート 1 に入射されたモード光が 0 次モード光である場合に、図 9 (b) に示すように、第 2 の合流導波路 3 2 における屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 の屈折率変化量 N_2 を -0.023 とし、第 1 の合流導波路 3 1 における屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 の屈折率変化量 N_1 を 0 とすることにより、1 次モード光に変換して透過させ、図 10 (b) に示すように、合流導波路 3 0 の合流後導波路 3 3 を介して出力ポート 2 から 1 次モード光を出射させることができる。こ

50

の場合には、図9(b)に示すように、必要なモード成分(1次モード光)に対する不要なモード成分(0次モード光)の比であるモード間クロストークは、26.2 dBである。

【0057】

同様に、モード間光スイッチ100は、入力ポート1に入射されたモード光が1次モード光である場合に、図9(c)に示すように、第1の合流導波路31における屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の屈折率変化量 N_1 を-0.017とし、第2の合流導波路32における屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の屈折率変化量 N_2 を0とすることにより、1次モード光のまま透過させ、図10(c)に示すように、合流導波路30の合流後導波路33を介して出力ポート2から1次モード光を出射させることができる。この

10

【0058】

また、モード間光スイッチ100は、入力ポート1に入射されたモード光が1次モード光である場合に、図9(d)に示すように、第2の合流導波路32における屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の屈折率変化量 N_2 を-0.023とし、第1の合流導波路31における屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の屈折率変化量 N_1 を0とすることにより、0次モード光に変換して透過させ、図10(d)に示すように、合流導波路30の合流後導波路33を介して出力ポート2から0次モード光を出射させることができる。この

20

【0059】

以上のように、本実施形態に係るモード間光スイッチ100は、屈折率変化手段8の屈折率変化領域3に適切な屈折率の変化量を与えることにより、モード間クロストークを抑制しつつ、0次モード光又は1次モード光を選択的に出射(スイッチング)することができ、入力ポート1に入射した任意のモード光を任意のモード光に変換して出力ポート2から出射することができる。

【0060】

(本発明の第2の実施形態)

図11(a)は第2の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、図11(b)は図11(a)に示す第1の分岐導波路の寸法を説明するための説明図であり、図11(c)は図11(a)に示す第2の直線状導波路における屈折率変化手段の拡大図である。図12(a)は0次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N と透過度との関係を示すグラフであり、図12(b)は1次モード光を入力した場合の屈折率変化量 N と透過度との関係を示すグラフである。図13(a)は0次モード光を入力して屈折率変化量 N を0とした場合の光フィールドを示す説明図であり、図13(b)は0次モード光を入力して屈折率変化量 N を-0.0039とした場合の光フィールドを示す説明図であり、図13(c)は1次モード光を入力して屈折率変化量 N を0とした場合の光フィールドを示す説明図であり、図13(d)は1次モード光を入力して屈折率変化量 N を-0.0039とした場合の光フィールドを示す説明図である。図11

30

40

【0061】

本実施形態に係る2本の導波路10は、Y分岐導波路20の導波路幅と合流導波路30の導波路幅とが同一であるため、導波路幅が一定の直線状導波路(第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12)である。

具体的には、第1の直線状導波路11及び第2の直線状導波路12は、導波路長が200 μm であると共に、Y分岐導波路20に結合する一端の導波路幅が0.6 μm であり、合流導波路30に結合する他端の導波路幅が0.6 μm である。

【0062】

また、本実施形態に係るY分岐導波路20は、図11(a)に示す平面視において、分

50

岐する 2 本の導波路（第 1 の分岐導波路 2 1、第 2 の分岐導波路 2 2）が対称の平面形状（対称な Y 字導波路）である。

具体的には、Y 分岐導波路 2 0 のうち分岐する 2 本の導波路（第 1 の分岐導波路 2 1、第 2 の分岐導波路 2 2）を除く領域（分岐前導波路 2 3）は、導波路長が $50\ \mu\text{m}$ であり、導波路幅が $1.2\ \mu\text{m}$ の直線状導波路である。

また、第 1 の分岐導波路 2 1 は、図 1 1（b）に示すように、導波路幅が $0.6\ \mu\text{m}$ であると共に、分岐前導波路 2 3 に結合する一端におけるコアの中心と第 1 の直線状導波路 1 1 に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が $5\ \mu\text{m}$ であり、曲率半径 R_4 が $1126.25\ \mu\text{m}$ である略 S 字の曲線状導波路である。

また、第 2 の分岐導波路 2 2 は、図 1 1（b）に示す第 1 の分岐導波路 2 1 を上下反転した平面形状であり、導波路幅が $0.6\ \mu\text{m}$ であると共に、分岐前導波路 2 3 に結合する一端におけるコアの中心と第 2 の直線状導波路 1 2 に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が $5\ \mu\text{m}$ であり、曲率半径 R_4 が $1126.25\ \mu\text{m}$ である略 S 字の曲線状導波路である。

【0063】

また、本実施形態に係る合流導波路 3 0 は、図 1 1（a）に示す平面視において、合流する 2 本の導波路（第 1 の合流導波路 3 1、第 2 の合流導波路 3 2）が対称の平面形状（対称な Y 字導波路）である。

具体的には、合流導波路 3 0 のうち合流する 2 本の導波路（第 1 の合流導波路 3 1、第 2 の合流導波路 3 2）を除く領域（合流後導波路 3 3）は、導波路長が $150\ \mu\text{m}$ であり、導波路幅が $1.2\ \mu\text{m}$ の直線状導波路である。

また、第 1 の合流導波路 3 1 は、図 1 1（b）に示す第 1 の分岐導波路 2 1 を左右反転した平面形状であり、導波路幅が $0.6\ \mu\text{m}$ であると共に、第 1 の直線状導波路 1 1 に結合する一端におけるコアの中心と合流後導波路 3 3 に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が $5\ \mu\text{m}$ であり、曲率半径 R_4 が $1126.25\ \mu\text{m}$ である略 S 字の曲線状導波路である。

また、第 2 の合流導波路 3 2 は、図 1 1（b）に示す第 1 の分岐導波路 2 1 を左右及び上下反転した平面形状であり、導波路幅が $0.6\ \mu\text{m}$ であると共に、第 2 の直線状導波路 1 2 に結合する一端におけるコアの中心と合流後導波路 3 3 に結合する他端におけるコアの中心との幅方向の間隔が $5\ \mu\text{m}$ であり、曲率半径 R_4 が $1126.25\ \mu\text{m}$ である略 S 字の曲線状導波路である。

【0064】

さらに、本実施形態に係る屈折率変化手段 8 は、入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に並設される 2 本の導波路 1 0（第 1 の直線状導波路 1 1、第 2 の直線状導波路 1 2）のうち、第 2 の直線状導波路 1 2 に配設される。

【0065】

つぎに、モード間光スイッチ 1 0 0 の動作について、図 1 1（a）、図 1 2 及び図 1 3 を用いて説明する。

モード間光スイッチ 1 0 0 の入力ポート 1 に入射されたモード光は、Y 分岐導波路 2 0 の分岐前導波路 2 3 に入射する。

【0066】

そして、Y 分岐導波路 2 0 の分岐前導波路 2 3 に入射したモード光は、2 つに均等分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第 1 の分岐導波路 2 1 及び第 1 の直線状導波路 1 1 を伝搬して合流導波路 3 0 の第 1 の合流導波路 3 1 に入射し、均等分割後の他方のモード光は、第 1 の分岐導波路 2 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2（屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3）を伝搬して合流導波路 3 0 の第 2 の合流導波路 3 2 に入射する。

【0067】

この状態において、モード間光スイッチ 1 0 0 の第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加すると、p 型半導体領域 1 3 2、真性半導体領域 1 3 1 及び n 型半導体領域 1 3 3 からなる p i n 接合が順バイアスされる。

10

20

30

40

50

これにより、p型半導体領域132及びn型半導体領域133から真性半導体領域131であるリブ部131aにキャリアが供給され、供給されたキャリアはリブ部131aに蓄積されて、キャリアのプラズマ効果により、一方のモード光の位相に対して他方のモード光の位相を [rad] だけ位相を変化させることができる。

【0068】

そして、合流導波路30の合流後導波路33は、一方のモード光の位相に対して他方のモード光の位相が [rad] だけ異なる場合に、均等分割後の一方のモード光と均等分割後の他方のモード光との重ね合わせにより、入力ポート1に入力されたモード光と異なるモード光を出力ポート2から出射させる。

また、合流導波路30の合流後導波路33は、一方のモード光の位相と他方のモード光の位相とが一致する場合に、均等分割後の一方のモード光と均等分割後の他方のモード光との重ね合わせにより、入力ポート1に入力されたモード光と同一のモード光を出力ポート2から出射させる。

【0069】

ここで、図11(a)に示すモード間光スイッチ100においては、入力ポート1に入力されたモード光を他のモード光に変換する場合又は無変換とする場合に、不要なモード成分が発生する。

このため、必要なモード成分に対する不要なモード成分の比(モード間クロストーク)を抑制する必要がある。

【0070】

そこで、図12に示す、第2の直線状導波路12に配設された屈折率変化手段8の屈折率変化領域3における屈折率の変化量 N と、0次モード光又は1次モード光の入力に対する0次モード光又は1次モード光の出力との関係に基づき、屈折率変化手段8の屈折率変化領域3に適切な屈折率変化量 N を与えることが考えられる。なお、図12においては、0次モード光を実線で示し、1次モード光を破線で示し、2次モード光を一点鎖線で示し、3次モード光を二点鎖線で示しており、2次モード光及び3次モード光は、出力が0である横軸に重なっている。

【0071】

すなわち、モード間光スイッチ100は、入力ポート1に入射されたモード光が0次モード光である場合に、図12(a)に示すように、屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の屈折率変化量 N を0とすることにより、第1の直線状導波路11を伝搬する均等分割後のモード光の位相と第2の直線状導波路12を伝搬する均等分割後のモード光の位相とを一致させて重ね合わせることににより、図13(a)に示すように、合流導波路30の合流後導波路33を介して出力ポート2から0次モード光を出射させることができる。この場合には、図12(a)に示すように、必要なモード成分(0次モード光)に対する不要なモード成分(1次モード光)の比であるモード間クロストークは、129.5dBである。

【0072】

また、モード間光スイッチ100は、入力ポート1に入射されたモード光が0次モード光である場合に、図12(a)に示すように、屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の屈折率変化量 N を -0.0039 とすることにより、第1の直線状導波路11を伝搬する均等分割後のモード光の位相に対して第2の直線状導波路12を伝搬する均等分割後のモード光の位相を [rad] だけ異ならせて重ね合わせることににより、図13(b)に示すように、合流導波路30の合流後導波路33を介して出力ポート2から1次モード光を出射させることができる。この場合には、図12(a)に示すように、必要なモード成分(1次モード光)に対する不要なモード成分(0次モード光)の比であるモード間クロストークは、36.1dBである。

【0073】

同様に、モード間光スイッチ100は、入力ポート1に入射されたモード光が1次モード光である場合に、図12(b)に示すように、屈折率変化手段8の屈折率変化領域3の

10

20

30

40

50

屈折率変化量 N を 0 とすることにより、第 1 の直線状導波路 1 1 を伝搬する均等分割後のモード光の位相と第 2 の直線状導波路 1 2 を伝搬する均等分割後のモード光の位相とを一致させて重ね合わせることに、図 1 3 (c) に示すように、合流導波路 3 0 の合流後導波路 3 3 を介して出力ポート 2 から 1 次モード光を出射させることができる。この場合には、図 1 2 (b) に示すように、必要なモード成分 (1 次モード光) に対する不要なモード成分 (0 次モード光) の比であるモード間クロストークは、1 1 5 . 2 d B である。

【 0 0 7 4 】

また、モード間光スイッチ 1 0 0 は、入力ポート 1 に入射されたモード光が 1 次モード光である場合に、図 1 2 (b) に示すように、屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3 の屈折率変化量 N を - 0 . 0 0 3 9 とすることにより、第 1 の直線状導波路 1 1 を伝搬する均等分割後のモード光の位相に対して第 2 の直線状導波路 1 2 を伝搬する均等分割後のモード光の位相を [r a d] だけ異ならせて重ね合わせることに、図 1 3 (d) に示すように、合流導波路 3 0 の合流後導波路 3 3 を介して出力ポート 2 から 0 次モード光を出射させることができる。この場合には、図 1 2 (b) に示すように、必要なモード成分 (0 次モード光) に対する不要なモード成分 (1 次モード光) の比であるモード間クロストークは、3 6 . 1 d B である。

【 0 0 7 5 】

なお、この第 2 の実施形態においては、非対称な Y 分岐導波路 2 0 によるモードソーティングを利用する代わりに、対称な Y 分岐導波路 2 0 による光 2 分割を利用すると共に、屈折率変化手段 8 を第 2 の直線状導波路 1 2 に配設するところのみが第 1 の実施形態と異なるところであり、対称な Y 分岐導波路 2 0 及び屈折率変化手段 8 による作用効果以外は、第 1 の実施形態と同様の作用効果を奏する。

【 0 0 7 6 】

また、本実施形態に係る屈折率変化手段 8 は、入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に並設される 2 本の導波路 1 0 (第 1 の直線状導波路 1 1 、第 2 の直線状導波路 1 2) のうち、第 2 の直線状導波路 1 2 に配設される場合について説明したが、入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に並設される 2 本の導波路 1 0 のうち、少なくとも一方に配設されるのであれば、第 2 の直線状導波路 1 2 ではなく、第 1 の直線状導波路 1 1 に配設させてもよいし、第 1 の直線状導波路 1 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2 に配設させてもよい。

【 0 0 7 7 】

なお、第 1 の直線状導波路 1 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2 に屈折率変化手段 8 を配設させる場合に、入力ポート 1 に入射したモード光に対して異なるモード光を出力ポート 2 から出射させるには、第 1 の直線状導波路 1 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2 のいずれか一方の屈折率変化手段 8 における第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加することになる。また、入力ポート 1 に入射したモード光に対して同一のモード光を出力ポート 2 から出射させるには、第 1 の直線状導波路 1 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2 の両方の屈折率変化手段 8 における第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加しないか、又は、第 1 の直線状導波路 1 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2 の両方の屈折率変化手段 8 における第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加することになる。

【 0 0 7 8 】

(本発明の第 3 の実施形態)

図 1 4 (a) は第 3 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、図 1 4 (b) は図 1 4 (a) に示す第 3 の直線状導波路における屈折率変化手段の拡大図であり、図 1 4 (c) は図 1 4 (a) に示すモード間光スイッチの矢視 C - C ' 線の断面図である。図 1 4 において、図 1 乃至図 8 及び図 1 1 と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

【 0 0 7 9 】

本実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 は、入力ポート 1 及び 2 本の導波路 1 0 間に配設される 1 × 2 型多モード光干渉 (Multimode Interference : M M I) 導波路 (以下

10

20

30

40

50

、「MMI導波路」と称す)40と、出力ポート2及び2本の導波路10間に配設される2×1型MMI導波路50と、1×2型MMI導波路40の入力ポートに一端が接続され他端を入射面(入力ポート1)とする入力導波路6と、2×1型MMI導波路50の出力ポートに一端が接続され他端を出射面(出力ポート2)とする出力導波路7と、を備える。

【0080】

特に、本実施形態に係る2本の導波路10は、直線領域からなる第3の直線状導波路13と、曲線領域からなる曲線状導波路14とから構成され、第3の直線状導波路13の導波路長と曲線状導波路14の導波路長とを異ならせている。

具体的には、第3の直線状導波路13は、導波路長が165μmであり、導波路幅が4μmである。

また、曲線状導波路14は、導波路幅が4μmであり、曲率半径が100μmである略S字の曲線領域を中央で結合した構成である。

【0081】

また、本実施形態に係る屈折率変化手段8は、入力ポート1及び出力ポート2間に並設される2本の導波路10(第3の直線状導波路13、曲線状導波路14)のうち、第3の直線状導波路13に配設される。

【0082】

さらに、本実施形態に係る1×2型MMI導波路40は、導波路長が420μm(3Lc/8、Lc:クラッドの導波路長)であり、導波路幅が20μmである、略矩形形状の干渉領域を有する。

また、本実施形態に係る2×1型MMI導波路50は、導波路長が415μm(3Lc'/4、Lc':クラッドの導波路長)であり、導波路幅が14μmである、略矩形形状の干渉領域を有する。

【0083】

なお、MMI導波路は、公知の技術を用いて設計できるのであるが、例えば、MMI理論に基づいて、1×2型MMI導波路40及び2×1型MMI導波路50を、以下のように設計することができる。

【0084】

MMI導波路の導波路長(L)の式は、下記数1のように示すことができる。ただし、数1の式に示す、Weは実効導波路幅を表し、W1はMMI領域の幅を表し、Nrは導波路の屈折率を表し、Ncはクラッドの屈折率を表し、λ0は入射光波長を表す。また、hはTEモードのとき=0を表し、TMモードのとき=1を表す。

【0085】

(数1)

$$W_e = W_1 + \left(\lambda_0 / \right) (N_c / N_r)^2 \left(N_r^2 - N_c^2 \right)^{-1/2}$$

$$L = 4 N_r W_e^2 / 3 \lambda_0$$

【0086】

また、MMI導波路は、下記数2の式で表されるとき、1×N型の導波路として動作することができる。また、MMI導波路は、下記数3の式で表されるとき、M×N型の導波路として動作することができる。なお、M及びNは正の整数であり、入力側のMは1であってもよく、出力側のNは2以上とすることができる。ただし、数2及び数3の式に示すLは、マルチモード干渉導波路の長さを表す。

【0087】

(数2)

$$L = (3/4N) L \quad (N \text{ は正の整数})$$

【0088】

(数3)

$$L = (3/N) L \quad (N \text{ は正の整数})$$

【0089】

10

20

30

40

50

なお、本実施の形態に係る 1×2 型 MMI 導波路 40 及び 2×1 型 MMI 導波路 50 は、入射光波長 λ_0 を $1.55 \mu\text{m}$ とし、クラッドの屈折率 N_c を 1.5 とし、導波路の屈折率 N_r を 3.22 として設計した。

【0090】

また、本実施形態に係る入力導波路 6 は、導波路長が $50 \mu\text{m}$ であり、導波路幅が $4 \mu\text{m}$ である直線状導波路であり、 1×2 型 MMI 導波路 40 の入力側の辺に対して略中央に接続されている。

また、本実施形態に係る出力導波路 7 は、導波路長が $50 \mu\text{m}$ であり、導波路幅が $8 \mu\text{m}$ である直線状導波路であり、 2×1 型 MMI 導波路 50 の出力側の辺に対して略中央に接続されている。

【0091】

なお、本実施形態に係る入力導波路 6 及び出力導波路 7、 1×2 型 MMI 導波路 40 及び 2×1 型 MMI 導波路 50、並びに、第 3 の直線状導波路 13 (屈折率変化手段 8 を除く) 及び曲線状導波路 14 の層構造は、導波路幅 (真性半導体領域 131 の幅) が異なるだけで、実施の形態 1 で前述した導波路 10、Y 分岐導波路 20 及び合流導波路 30 (屈折率変化手段 8 を除く) の層構造 (図 2 (d) 参照) と同一である。

【0092】

つぎに、モード間光スイッチ 100 の動作について、図 14 (a) を用いて説明する。

モード間光スイッチ 100 の入力ポート 1 に入射されたモード光は、入力導波路 6 を伝搬して 1×2 型 MMI 導波路 40 に入射する。

【0093】

そして、 1×2 型 MMI 導波路 40 に入射したモード光は、2 つに均等分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第 3 の直線状導波路 13 (屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3) を伝搬して 2×1 型 MMI 導波路 50 に入射し、均等分割後の他方のモード光は、曲線状導波路 14 を伝搬して、均等分割後の一方のモード光に対して位相がずれて 2×1 型 MMI 導波路 50 に入射する。

【0094】

この状態において、モード間光スイッチ 100 の第 1 の電極 4a 及び第 2 の電極 4b に電圧を印加すると、p 型半導体領域 132、真性半導体領域 131 及び n 型半導体領域 133 からなる pin 接合が順バイアスされる。

これにより、p 型半導体領域 132 及び n 型半導体領域 133 から真性半導体領域 131 であるリブ部 131a にキャリアが供給され、供給されたキャリアはリブ部 131a に蓄積されて、キャリアのプラズマ効果により、一方のモード光の位相に対して他方のモード光の位相を [rad] だけ位相を変化させることができる。

すなわち、モード間光スイッチ 100 は、第 1 の電極 4a 及び第 2 の電極 4b に電圧を印加することにより、2 本の導波路 10 の導波路長を異ならせた構造により生じた、第 3 の直線状導波路 13 を伝搬する均等分割後の一方のモード光と曲線状導波路 14 を伝搬する均等分割後の他方のモード光との位相差に対して、一方のモード光の位相と他方のモード光の位相とを一致させることになる。

【0095】

そして、 2×1 型 MMI 導波路 50 は、一方のモード光の位相に対して他方のモード光の位相が [rad] だけ異なる場合 (第 1 の電極 4a 及び第 2 の電極 4b に電圧を印加しない場合) に、均等分割後の一方のモード光と均等分割後の他方のモード光との重ね合わせにより、入力ポート 1 に入力されたモード光と異なるモード光を出力ポート 2 から出射させる。

また、 2×1 型 MMI 導波路 50 は、一方のモード光の位相と他方のモード光の位相とが一致する場合 (第 1 の電極 4a 及び第 2 の電極 4b に電圧を印加する場合) に、均等分割後の一方のモード光と均等分割後の他方のモード光との重ね合わせにより、入力ポート 1 に入力されたモード光と同一のモード光を出力ポート 2 から出射させる。

【0096】

10

20

30

40

50

なお、この第3の実施形態においては、Y分岐導波路20及び合流導波路30の代わりに、1×2型MMI導波路40（入力導波路6）及び2×1型MMI導波路50（出力導波路7）を備えるところのみが第1の実施形態及び第2の実施形態と異なるところであり、1×2型MMI導波路40及び2×1型MMI導波路50による作用効果以外は、第1の実施形態及び第2の実施形態と同様の作用効果を奏する。

【0097】

また、本実施形態に係る屈折率変化手段8は、入力ポート1及び出力ポート2間に並設される2本の導波路10（第3の直線状導波路13、曲線状導波路14）のうち、第3の直線状導波路13に配設される場合について説明したが、入力ポート1及び出力ポート2間に並設される2本の導波路10のうち、少なくとも一方に配設されるのであれば、第3の直線状導波路13ではなく、曲線状導波路14に配設させてもよいし、第3の直線状導波路13及び曲線状導波路14に配設させてもよい。

10

【0098】

なお、第3の直線状導波路13及び曲線状導波路14に屈折率変化手段8を配設させる場合に、入力ポート1に入射したモード光に対して同一のモード光を出力ポート2から出射させるには、第3の直線状導波路13及び曲線状導波路14のいずれか一方の屈折率変化手段8における第1の電極4a及び第2の電極4bに電圧を印加することになる。また、入力ポート1に入射したモード光に対して異なるモード光を出力ポート2から出射させるには、第3の直線状導波路13及び曲線状導波路14の両方の屈折率変化手段8における第1の電極4a及び第2の電極4bに電圧を印加しないか、又は、第3の直線状導波路13及び曲線状導波路14の両方の屈折率変化手段8における第1の電極4a及び第2の電極4bに電圧を印加することになる。

20

【0099】

また、本実施形態に係る2本の導波路10は、2本の導波路10の導波路長を異ならせて、第3の直線状導波路13を伝搬する均等分割後の一方のモード光と曲線状導波路14を伝搬する均等分割後の他方のモード光との位相差を生じさせているが、2本の導波路10の導波路長を異ならせることなく、例えば、曲線状導波路14を、第3の直線状導波路13の導波路長と同一の導波路長である直線状導波路としてもよい。

しかしながら、本実施形態に係るモード間光スイッチ100は、入力ポート1に入射したモード光を異なるモード光として出力ポート2から出射させる（同一モード光又は異なるモード光に変換させる）ために、2本の導波路10のうち、少なくとも一方に屈折率変化手段8を配設する必要である。

30

【0100】

（本発明の第4の実施形態）

図15（a）は第4の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、図15（b）は図15（a）に示す第2の直線状導波路における屈折率変化手段の拡大図であり、図15（c）は図15（a）に示す1×2型MMI導波路の矢視D-D'線の断面図である。図15において、図1乃至図14と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

【0101】

本実施形態に係るモード変換手段は、入力ポート1及び出力ポート2間に並設される2本の導波路10（第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12）を備える。

また、本実施形態に係る光分岐導波路は、入力ポート1及び2本の導波路10（第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12）間に配設される1×2型多モード光干渉導波路40である。

また、本実施形態に係る光合流導波路は、出力ポート2及び2本の導波路10（第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12）間に配設される合流導波路30である。

さらに、屈折率変化手段8は、2本の導波路10（第1の直線状導波路11、第2の直線状導波路12）、又は、合流導波路30の合流する導波路（第1の合流導波路31、第2の合流導波路32）に配設される。なお、本実施形態に係る屈折率変化手段8は、第2

40

50

の直線状導波路 1 2 に配設される。

【 0 1 0 2 】

つぎに、モード間光スイッチ 1 0 0 の動作について、図 1 5 (a) を用いて説明する。

モード間光スイッチ 1 0 0 の入力ポート 1 に入射されたモード光は、入力導波路 6 を伝搬して 1 × 2 型 M M I 導波路 4 0 に入射する。

【 0 1 0 3 】

そして、1 × 2 型 M M I 導波路 4 0 に入射したモード光は、2 つに均等分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第 1 の直線状導波路 1 1 を伝搬して合流導波路 3 0 の第 1 の合流導波路 3 1 に入射し、均等分割後の他方のモード光は、第 2 の直線状導波路 1 2 (屈折率変化手段 8 の屈折率変化領域 3) を伝搬して合流導波路 3 0 の第 2 の合流導波路 3 2 に入射する。

10

【 0 1 0 4 】

この状態において、モード間光スイッチ 1 0 0 の第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加すると、p 型半導体領域 1 3 2、真性半導体領域 1 3 1 及び n 型半導体領域 1 3 3 からなる p i n 接合が順バイアスされる。

これにより、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 から真性半導体領域 1 3 1 であるリブ部 1 3 1 a にキャリアが供給され、供給されたキャリアはリブ部 1 3 1 a に蓄積されて、キャリアのプラズマ効果により、一方のモード光の位相に対して他方のモード光の位相を [r a d] だけ位相を変化させることができる。

20

【 0 1 0 5 】

そして、合流導波路 3 0 の合流後導波路 3 3 は、一方のモード光の位相に対して他方のモード光の位相が [r a d] だけ異なる場合 (第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加する場合) に、均等分割後の一方のモード光と均等分割後の他方のモード光との重ね合わせにより、入力ポート 1 に入力されたモード光と異なるモード光を出力ポート 2 から出射させる。

また、合流導波路 3 0 の合流後導波路 3 3 は、一方のモード光の位相と他方のモード光の位相とが一致する場合 (第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加しない場合) に、均等分割後の一方のモード光と均等分割後の他方のモード光との重ね合わせにより、入力ポート 1 に入力されたモード光と同一のモード光を出力ポート 2 から出射させる。

30

【 0 1 0 6 】

なお、この第 4 の実施形態においては、Y 分岐導波路 2 0 の代わりに、分岐前導波路 2 3 の導波路幅と導波路幅が等しい入力導波路 6 及び 1 × 2 型 M M I 導波路 4 0 を備えるところのみが第 2 の実施形態と異なるところであり、1 × 2 型 M M I 導波路 4 0 による作用効果以外は、第 2 の実施形態と同様の作用効果を奏する。

【 0 1 0 7 】

また、本実施形態に係る屈折率変化手段 8 は、入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に並設される 2 本の導波路 1 0 (第 1 の直線状導波路 1 1、第 2 の直線状導波路 1 2) のうち、第 2 の直線状導波路 1 2 に配設される場合について説明したが、入力ポート 1 及び出力ポート 2 間に並設される 2 本の導波路 1 0 のうち、少なくとも一方に配設されるのであれば、第 2 の直線状導波路 1 2 ではなく、第 1 の直線状導波路 1 1 に配設させてもよいし、第 1 の直線状導波路 1 1 及び第 2 の直線状導波路 1 2 に配設させてもよい。

40

【 0 1 0 8 】

また、本実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 は、第 2 の実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 において、合流導波路 3 0 の代わりに、合流後導波路 3 3 の導波路幅と導波路幅が等しい出力導波路 7 及び 2 × 1 型 M M I 導波路 5 0 を備えてもよい。

また、本実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 は、第 2 の実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 において、Y 分岐導波路 2 0 の代わりに、分岐前導波路 2 3 の導波路幅と導波路幅が等しい入力導波路 6 及び 1 × 2 型 M M I 導波路 4 0 を備えると共に、合流導波路 3 0 の代わりに、合流後導波路 3 3 の導波路幅と導波路幅が等しい出力導波路 7 及び 2 × 1 型 M M I 導波路 5 0 を備えてもよい。

50

【0109】

(本発明の第5の実施形態)

図16(a)は第5の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、図16(b)は図16(a)に示すモード間光スイッチのモードスイッチングの一例を説明するための説明図であり、図16(c)は第5の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の他の一例を示す平面図である。図17は図16(a)に示すモード間光スイッチにおけるビーム伝搬法シミュレーションによる0次モード光から他のモードに変換した様子(光フィールド)を示す説明図であり、(a)は0次モード光を入力して0次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図であり、(b)は0次モード光を入力して1次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図であり、(c)は0次モード光を入力して2次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図であり、(d)は0次モード光を入力して3次モード光を出力した場合の光フィールドを示す説明図である。図16及び図17において、図1乃至図15と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

10

【0110】

前述した第2の実施形態においては、0次モード光又は1次モード光を0次モード光又は1次モード光に変換する2種類のモード(0次モード、1次モード)光に対応するモード間光スイッチ100について説明した。

これに対し、本実施形態においては、モード間光スイッチ100の機能を拡張し、0次モード光、1次モード光、2次モード光又は3次モード光を、0次モード光、1次モード光、2次モード光又は3次モード光に変換する4種類のモード(0次モード、1次モード、2次モード、3次モード)光に対応するモード間光スイッチ100について説明する。

20

【0111】

本実施形態に係るモード変換手段は、図16(a)に示すように、入力ポート1から入力されるモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第1Y分岐導波路61」と称す)と、第1Y分岐導波路61の分岐後の一の導波路61aを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第2Y分岐導波路62」と称す)と、第1Y分岐導波路61の分岐後の他の導波路61bを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第3Y分岐導波路63」と称す)と、後述する第1合流導波路71から入力されるモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第4Y分岐導波路64」と称す)と、を備える。

30

【0112】

また、本実施形態に係るモード変換手段は、第2Y分岐導波路62の分岐後の一の導波路62aを伝播するモード光及び第3Y分岐導波路63の分岐後の一の導波路63aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第1合流導波路71」と称す)と、第2Y分岐導波路62の分岐後の他の導波路62bを伝播するモード光及び第4Y分岐導波路64の分岐後の一の導波路64aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第2合流導波路72」と称す)と、第3Y分岐導波路63の分岐後の他の導波路63bを伝播するモード光及び第4Y分岐導波路64の分岐後の他の導波路64bを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第3合流導波路73」と称す)と、第2合流導波路72から入力されるモード光及び第3合流導波路73から入力されるモード光を結合して出力ポートから出力する合流導波路(以下、「第4合流導波路74」と称す)と、を備える。

40

【0113】

本実施形態に係る屈折率変化手段8は、図16(a)に示すように、第1Y分岐導波路61の分岐後の他の導波路61b、第1合流導波路71及び第4Y分岐導波路64間の導波路71a、第4Y分岐導波路64の分岐後の一の導波路64a及び他の導波路64b、第3Y分岐導波路63の分岐後の他の導波路63b、並びに、第3合流導波路73及び第4合流導波路74間の導波路73aに配設される。

【0114】

50

なお、本実施形態に係る屈折率変化手段 8 は、第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b への電圧の印加により、モード光の位相を反転（「rad」だけ変化）させる位相反転領域（位相変化領域）である。

特に、第 1 Y 分岐導波路 6 1 の分岐後の他の導波路 6 1 b、第 1 合流導波路 7 1 及び第 4 Y 分岐導波路 6 4 間の導波路 7 1 a、並びに、第 3 合流導波路 7 3 及び第 4 合流導波路 7 4 間の導波路 7 3 a は、後述するように、1 次モード以下のモード光（1 次モード光、0 次モード光）が伝播する導波路であり、導波路 6 1 b、導波路 7 1 a 及び導波路 7 3 a に配設される屈折率変化手段 8 は、1 次モード位相反転領域となる。なお、ここでいう 1 次モード位相反転領域とは、1 次モード以下のモード光が伝搬する光導波路において、0 次モード光と 1 次モード光との間の伝搬定数が異なることを利用し、この領域に電流を注入して屈折率を変化させた場合に、1 次モード光の位相を変転させる一方で、0 次モード光の位相は反転させずにそのままとした状態を作り出す領域のことを意味する。

また、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の分岐後の一の導波路 6 4 a 及び他の導波路 6 4 b、並びに、第 3 Y 分岐導波路 6 3 の分岐後の他の導波路 6 3 b は、後述するように、0 次モード光が伝播する導波路であり、導波路 6 4 a、導波路 6 4 b 及び導波路 6 3 b に配設される屈折率変化手段 8 は、0 次モード位相反転領域となる。

【0115】

なお、本実施形態に係る Y 分岐導波路（第 1 Y 分岐導波路 6 1、第 2 Y 分岐導波路 6 2、第 3 Y 分岐導波路 6 3、第 4 Y 分岐導波路 6 4）による分岐後の導波路幅は、分岐前の導波路幅の 1 / 2 倍の幅であり、合流導波路（第 1 合流導波路 7 1、第 2 合流導波路 7 2、第 3 合流導波路 7 3、第 4 合流導波路 7 4）による結合後の導波路幅は、結合前の導波路幅の 2 倍の幅である。

【0116】

すなわち、入力ポート 1 及び出力ポート 2 の導波路幅を「W」とすると、第 1 Y 分岐導波路 6 1 の分岐後の一の導波路 6 1 a 及び他の導波路 6 1 b の導波路幅は「W / 2」であり、第 2 Y 分岐導波路 6 2 の分岐後の一の導波路 6 2 a 及び他の導波路 6 2 b の導波路幅は「W / 4」であり、第 3 Y 分岐導波路 6 3 の分岐後の一の導波路 6 3 a 及び他の導波路 6 3 b の導波路幅は「W / 4」であり、第 1 合流導波路 7 1 及び第 4 Y 分岐導波路 6 4 間の導波路 7 1 a の導波路幅は「W / 2」であり、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の分岐後の一の導波路 6 4 a 及び他の導波路 6 4 b の導波路幅は「W / 4」であり、第 2 合流導波路 7 2 及び第 4 合流導波路 7 4 間の導波路 7 2 a の導波路幅は「W / 2」であり、第 3 合流導波路 7 3 及び第 4 合流導波路 7 4 間の導波路 7 3 a の導波路幅は「W / 2」である。

【0117】

このように、Y 分岐導波路による分岐後の導波路幅を分岐前の導波路幅の 1 / 2 倍の幅とし、合流導波路による結合後の導波路幅を結合前の導波路幅の 2 倍の幅として、屈折率変化手段 8 を対称的で単純な構造にすることは、Y 分岐導波路による分岐及び合流導波路による結合による過剰損失が生じないために好ましい。

【0118】

つぎに、モード間光スイッチ 100 の動作について、図 16 及び表 1 を用いて説明する。

なお、本実施形態に係るモード間光スイッチ 100 は、0 次モード光、1 次モード光、2 次モード光及び 3 次モード光の 4 種類のモード光が入力モードとして入力ポート 1 に入力されるため、出力モードとして出力ポート 2 から出力されるモード光の順番（順列）としては、4 の階乗（4!）である 24 通りが考えられる。

【0119】

また、表 1 において、屈折率変化手段 8（位相変化領域）は、「A」が第 1 Y 分岐導波路 6 1 の分岐後の他の導波路 6 1 b に配設される屈折率変化手段 8 であり、「B」が第 1 合流導波路 7 1 及び第 4 Y 分岐導波路 6 4 間の導波路 7 1 a に配設される屈折率変化手段 8 であり、「C」が第 3 合流導波路 7 3 及び第 4 合流導波路 7 4 間の導波路 7 3 a に配設される屈折率変化手段 8 であり、「D」が第 4 Y 分岐導波路 6 4 の分岐後の一の導波路

6 4 a に配設される屈折率変化手段 8 であり、「 E 」が第 4 Y 分岐導波路 6 4 の分岐後の他の導波路 6 4 b に配設される屈折率変化手段 8 であり、「 F 」が第 3 Y 分岐導波路 6 3 の分岐後の他の導波路 6 3 b に配設される屈折率変化手段 8 である。

また、表 1 において、屈折率変化手段 8 (位相変化領域) の各欄における「 \bullet 」は、屈折率変化手段 8 をオン (第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加) した状態であり、屈折率変化手段 8 (位相変化領域) の各欄における「 - 」は、屈折率変化手段 8 をオフした状態である。

【 0 1 2 0 】

【表 1】

スイッチング パターン	屈折率変化手段 8 (π 位相変化領域)						入力モード [*]	0	1	2	3
	A	B	C	D	E	F					
1	-	-	-	-	-	-	出力モード [*]	0	1	2	3
2	-	-	-	-	\bullet	\bullet		1	0	3	2
3	-	-	-	\bullet	-	\bullet		3	2	1	0
4	-	-	-	\bullet	\bullet	-		2	3	0	1
5	-	-	\bullet	-	-	-		0	1	3	2
6	-	-	\bullet	-	\bullet	\bullet		1	0	2	3
7	-	-	\bullet	\bullet	-	\bullet		2	3	1	0
8	-	-	\bullet	\bullet	\bullet	-		3	2	0	1
9	-	\bullet	-	-	-	-		0	3	2	1
10	-	\bullet	-	-	\bullet	\bullet		1	2	3	0
11	-	\bullet	-	\bullet	-	\bullet		3	0	1	2
12	-	\bullet	-	\bullet	\bullet	-		2	1	0	3
13	-	\bullet	\bullet	-	-	-		0	2	3	1
14	-	\bullet	\bullet	-	\bullet	\bullet		1	3	2	0
15	-	\bullet	\bullet	\bullet	-	\bullet		2	0	1	3
16	-	\bullet	\bullet	\bullet	\bullet	-		3	1	0	2
17	\bullet	\bullet	-	-	-	-		0	3	1	2
18	\bullet	\bullet	-	-	\bullet	\bullet		1	2	0	3
19	\bullet	\bullet	-	\bullet	-	\bullet		3	0	2	1
20	\bullet	\bullet	-	\bullet	\bullet	-		2	1	3	0
21	\bullet	\bullet	\bullet	-	-	-		0	2	1	3
22	\bullet	\bullet	\bullet	-	\bullet	\bullet		1	3	0	2
23	\bullet	\bullet	\bullet	\bullet	-	\bullet		2	0	3	1
24	\bullet	\bullet	\bullet	\bullet	\bullet	-		3	1	2	0

10

20

30

40

【 0 1 2 1 】

なお、表 1 においては、屈折率変化手段 8 (位相変化領域) の「 A 」 ~ 「 F 」のオン / オフを適宜選択して、24 通りの出力モードの一例を示しているが、表 1 に示す屈折率変化手段 8 (位相変化領域) の「 A 」 ~ 「 F 」のオン / オフの選択以外にも、24 通りの出力モードに重複するオン / オフの選択も存在する。特に、図 1 6 (a) に示す屈折率変化手段 8 の配置であれば、64 (= 2 × 2 × 2³ × 2) 通りのスイッチングパターンが存在する。

【 0 1 2 2 】

このため、モード間光スイッチ 1 0 0 の動作説明においては、スイッチングパターンの

50

一例として、図16(b)に示すように、第4 Y分岐導波路64の分岐後の一の導波路64a及び他の導波路64b、並びに、第3合流導波路73及び第4合流導波路74間の導波路73aに配設される屈折率変化手段8(位相変化領域)をオンした場合(表1に示す第8のスイッチングパターン)について説明するが、他のスイッチングパターンによるモード間光スイッチ100の動作についても同様の考え方が成り立つ。

【0123】

モード間光スイッチ100の入力ポート1に入射された0次モード光(図16(b)では破線)、1次モード光(図16(b)では一点鎖線)、2次モード光(図16(b)では点線)及び3次モード光(図16(b)では実線)は、第1 Y分岐導波路61に入射する。

10

【0124】

そして、第1 Y分岐導波路61に入射したモード光(0次モード光、1次モード光、2次モード光、3次モード光)は、2つに平均分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61aを伝搬して第2 Y分岐導波路62に入射し、均等分割後の他方のモード光は、第1 Y分岐導波路61の他の導波路61b(屈折率変化手段8の屈折率変化領域3)を伝搬して第3 Y分岐導波路63に入射する。

この場合に、第1 Y分岐導波路61に入射した0次モード光は、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61a及び他の導波路61bに0次モード光としてそれぞれ伝搬する。

また、第1 Y分岐導波路61に入射した1次モード光は、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61aに0次モード光として伝搬し、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61aに伝搬する0次モード光と位相がずれた0次モード光(以下、「反転0次モード光」と称す)として第1 Y分岐導波路61の他の導波路61bに伝搬する。

20

また、第1 Y分岐導波路61に入射した2次モード光は、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61aに1次モード光として伝搬し、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61aに伝搬する1次モード光と位相がずれた1次モード光(以下、「反転1次モード光」と称す)として第1 Y分岐導波路61の他の導波路61bに伝搬する。

さらに、第1 Y分岐導波路61に入射した3次モード光は、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61a及び他の導波路61bに1次モード光としてそれぞれ伝搬する。

このように、第1 Y分岐導波路61の一の導波路61a及び他の導波路61bには、1次モード以下のモード光が伝搬する。

30

【0125】

そして、第2 Y分岐導波路62に入射したモード光(0次モード光、0次モード光、1次モード光、1次モード光)は、2つに均等分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第2 Y分岐導波路62の一の導波路62aを伝搬して第1合流導波路71に入射し、均等分割後の他方のモード光は、第2 Y分岐導波路62の他の導波路62bを伝搬して第2合流導波路72に入射する。

この場合に、第2 Y分岐導波路62に入射した0次モード光は、第2 Y分岐導波路62の一の導波路62a及び他の導波路62bに0次モード光として伝搬する。

また、第2 Y分岐導波路62に入射した1次モード光は、第2 Y分岐導波路62の他の導波路62bに0次モード光として伝搬し、第2 Y分岐導波路62の他の導波路62bに伝搬する0次モード光と位相がずれた0次モード光(反転0次モード光)として第2 Y分岐導波路62の一の導波路62aに伝搬する。

40

このように、第2 Y分岐導波路62の一の導波路62a及び他の導波路62bには、0次モード光が伝搬する。

【0126】

同様に、第3 Y分岐導波路63に入射したモード光(0次モード光、反転0次モード光、反転1次モード光、1次モード光)は、2つに均等分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第3 Y分岐導波路63の一の導波路63aを伝搬して第1合流導波路71に入射し、均等分割後の他方のモード光は、第3 Y分岐導波路63の他の導波路63bを伝搬して第3合流導波路73に入射する。

50

この場合に、第3 Y分岐導波路6 3に入射した0次モード光は、第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 a及び他の導波路6 3 bに0次モード光としてそれぞれ伝搬する。

また、第3 Y分岐導波路6 3に入射した反転0次モード光は、第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 a及び他の導波路6 3 bに反転0次モード光としてそれぞれ伝搬する。

また、第3 Y分岐導波路6 3に入射した反転1次モード光は、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bに0次モード光として伝搬し、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bに伝搬する0次モード光と位相がずれた0次モード光(反転0次モード光)として第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aに伝搬する。

また、第3 Y分岐導波路6 3に入射した1次モード光は、第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aに0次モード光として伝搬し、第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aに伝搬する0次モード光と位相がずれた0次モード光(反転0次モード光)として第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bに伝搬する。

このように、第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 a及び他の導波路6 3 bには、0次モード光が伝搬する。

【0127】

そして、第2 Y分岐導波路6 2の一の導波路6 2 aから第1合流導波路7 1に入射したモード光(0次モード光、0次モード光、反転0次モード光、反転0次モード光)と第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aから第1合流導波路7 1に入射したモード光(0次モード光、反転0次モード光、反転0次モード光、0次モード光)とは、第1合流導波路7 1によりそれぞれ結合された後に、第1合流導波路7 1及び第4 Y分岐導波路6 4間の導波路7 1 a(屈折率変化手段8の屈折率変化領域3)を伝搬して第4 Y分岐導波路6 4に入射する。

この場合に、第2 Y分岐導波路6 2の一の導波路6 2 aから第1合流導波路7 1に入射した0次モード光と第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aから第1合流導波路7 1に入射した0次モード光とは、第1合流導波路7 1により結合されて0次モード光として第4 Y分岐導波路6 4に入射する。

また、第2 Y分岐導波路6 2の一の導波路6 2 aから第1合流導波路7 1に入射した0次モード光と第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aから第1合流導波路7 1に入射した反転0次モード光とは、第1合流導波路7 1により結合されて1次モード光として第4 Y分岐導波路6 4に入射する。

また、第2 Y分岐導波路6 2の一の導波路6 2 aから第1合流導波路7 1に入射した反転0次モード光と第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aから第1合流導波路7 1に入射した反転0次モード光とは、第1合流導波路7 1により結合されて反転0次モード光として第4 Y分岐導波路6 4に入射する。

また、第2 Y分岐導波路6 2の一の導波路6 2 aから第1合流導波路7 1に入射した反転0次モード光と第3 Y分岐導波路6 3の一の導波路6 3 aから第1合流導波路7 1に入射した0次モード光とは、第1合流導波路7 1により結合されて反転1次モード光として第4 Y分岐導波路6 4に入射する。

このように、第1合流導波路7 1及び第4 Y分岐導波路6 4間の導波路7 1 aには、1次モード以下のモード光が伝搬する。

【0128】

そして、第4 Y分岐導波路6 4に入射したモード光(0次モード光、1次モード光、反転0次モード光、反転1次モード光)は、2つに均等分割して分岐され、均等分割後の一方のモード光は、第4 Y分岐導波路6 4の一の導波路6 4 a(屈折率変化手段8の屈折率変化領域3)を伝搬して第2合流導波路7 2に入射し、均等分割後の他方のモード光は、第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 b(屈折率変化手段8の屈折率変化領域3)を伝搬して第3合流導波路7 3に入射する。

この場合に、第4 Y分岐導波路6 4に入射した0次モード光は、第4 Y分岐導波路6 4の一の導波路6 4 a及び他の導波路6 4 bに0次モード光としてそれぞれ伝搬する。

また、第4 Y分岐導波路6 4に入射した1次モード光は、第4 Y分岐導波路6 4の一の

導波路 6 4 a に 0 次モード光として伝搬し、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a に伝搬する 0 次モード光と位相がずれた 0 次モード光（反転 0 次モード光）として第 4 Y 分岐導波路 6 4 の他の導波路 6 4 b に伝搬する。

また、第 4 Y 分岐導波路 6 4 に入射した反転 0 次モード光は、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a 及び他の導波路 6 4 b に反転 0 次モード光としてそれぞれ伝搬する。

さらに、第 4 Y 分岐導波路 6 4 に入射した反転 1 次モード光は、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の他の導波路 6 4 b に 0 次モード光として伝搬し、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の他の導波路 6 4 b に伝搬する 0 次モード光と位相がずれた 0 次モード光（反転 0 次モード光）として第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a に伝搬する。

このように、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a 及び他の導波路 6 4 b には、0 次モード光が伝搬する。

【 0 1 2 9 】

この状態において、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a に配設された屈折率変化手段 8（位相変化領域 D）並びに第 4 Y 分岐導波路 6 4 の他の導波路 6 4 b に配設された屈折率変化手段 8（位相変化領域 E）における第 1 の電極 4 a 及び第 2 の電極 4 b に電圧を印加すると、p 型半導体領域 1 3 2、真性半導体領域 1 3 1 及び n 型半導体領域 1 3 3 からなる p i n 接合が順バイアスされる。

これにより、p 型半導体領域 1 3 2 及び n 型半導体領域 1 3 3 から真性半導体領域 1 3 1 であるリブ部 1 3 1 a にキャリアが供給され、供給されたキャリアはリブ部 1 3 1 a に蓄積されて、キャリアのプラズマ効果により、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a 及び他の導波路 6 4 b を伝搬するモード光の位相を [r a d] だけ変化させることができる。

すなわち、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a を伝搬するモード光（0 次モード光、0 次モード光、反転 0 次モード光、反転 0 次モード光）は、0 次モード光が反転 0 次モード光となり、反転 0 次モード光が 0 次モード光となり、第 3 合流導波路 7 3 にモード光（反転 0 次モード光、反転 0 次モード光、0 次モード光、0 次モード光）として入射する。

また、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の他の導波路 6 4 b を伝搬するモード光（0 次モード光、反転 0 次モード光、反転 0 次モード光、0 次モード光）は、0 次モード光が反転 0 次モード光となり、反転 0 次モード光が 0 次モード光となり、第 3 合流導波路 7 3 にモード光（反転 0 次モード光、0 次モード光、0 次モード光、反転 0 次モード光）として入射する。

【 0 1 3 0 】

そして、第 2 Y 分岐導波路 6 2 の他の導波路 6 2 b から第 2 合流導波路 7 2 に入射したモード光（0 次モード光、0 次モード光、0 次モード光、0 次モード光）と第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a から屈折率変化手段 8（位相変化領域 D）を介して第 2 合流導波路 7 2 に入射したモード光（反転 0 次モード光、反転 0 次モード光、0 次モード光、0 次モード光）とは、第 2 合流導波路 7 2 によりそれぞれ結合された後に、第 4 合流導波路 7 4 に入射する。

この場合に、第 2 Y 分岐導波路 6 2 の他の導波路 6 2 b から第 2 合流導波路 7 2 に入射した 0 次モード光と第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a から屈折率変化手段 8（位相変化領域 D）を介して第 2 合流導波路 7 2 に入射した反転 0 次モード光とは、第 2 合流導波路 7 2 により結合されて 1 次モード光として第 4 合流導波路 7 4 に入射する。

また、第 2 Y 分岐導波路 6 2 の他の導波路 6 2 b から第 2 合流導波路 7 2 に入射した 0 次モード光と第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a から屈折率変化手段 8（位相変化領域 D）を介して第 2 合流導波路 7 2 に入射した反転 0 次モード光とは、第 2 合流導波路 7 2 により結合されて 1 次モード光として第 4 合流導波路 7 4 に入射する。

また、第 2 Y 分岐導波路 6 2 の他の導波路 6 2 b から第 2 合流導波路 7 2 に入射した 0 次モード光と第 4 Y 分岐導波路 6 4 の一の導波路 6 4 a から屈折率変化手段 8（位相変化領域 D）を介して第 2 合流導波路 7 2 に入射した 0 次モード光とは、第 2 合流導波路 7 2 により結合されて 0 次モード光として第 4 合流導波路 7 4 に入射する。

10

20

30

40

50

また、第2 Y分岐導波路6 2の他の導波路6 2 bから第2合流導波路7 2に入射した0次モード光と第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 aから屈折率変化手段8 (位相変化領域D)を介して第2合流導波路7 2に入射した0次モード光とは、第2合流導波路7 2により結合されて0次モード光として第4合流導波路7 4に入射する。

このように、第2合流導波路7 2及び第4合流導波路7 4間の導波路7 2 aには、1次モード以下のモード光が伝搬する。

【0 1 3 1】

同様に、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 b (屈折率変化手段8の屈折率変化領域3)から第3合流導波路7 3に入射したモード光(0次モード光、反転0次モード光、0次モード光、反転0次モード光)と第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 bから屈折率変化手段8 (位相変化領域E)を介して第3合流導波路7 3に入射したモード光(反転0次モード光、0次モード光、0次モード光、反転0次モード光)とは、第3合流導波路7 3によりそれぞれ結合された後に、第4合流導波路7 4に入射する。

この場合に、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bから第3合流導波路7 3に入射した0次モード光と第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 bから屈折率変化手段8 (位相変化領域E)を介して第3合流導波路7 3に入射した反転0次モード光とは、第3合流導波路7 3により結合されて反転1次モード光になる。

また、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bから第3合流導波路7 3に入射した反転0次モード光と第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 bから屈折率変化手段8 (位相変化領域E)を介して第3合流導波路7 3に入射した0次モード光とは、第3合流導波路7 3により結合されて1次モード光になる。

また、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bから第3合流導波路7 3に入射した0次モード光と第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 bから屈折率変化手段8 (位相変化領域E)を介して第3合流導波路7 3に入射した0次モード光とは、第3合流導波路7 3により結合されて0次モード光になる。

また、第3 Y分岐導波路6 3の他の導波路6 3 bから第3合流導波路7 3に入射した反転0次モード光と第4 Y分岐導波路6 4の他の導波路6 4 bから屈折率変化手段8 (位相変化領域E)を介して第3合流導波路7 3に入射した反転0次モード光とは、第3合流導波路7 3により結合されて反転0次モード光になる。

このように、第3合流導波路7 3及び第4合流導波路7 4間の導波路7 3 aには、1次モード以下のモード光が伝搬する。

【0 1 3 2】

この状態において、第3合流導波路7 3及び第4合流導波路7 4間の導波路7 3 aに配設された屈折率変化手段8 (位相変化領域C)における第1の電極4 a及び第2の電極4 bに電圧を印加すると、p型半導体領域1 3 2、真性半導体領域1 3 1及びn型半導体領域1 3 3からなるpin接合が順バイアスされる。

これにより、p型半導体領域1 3 2及びn型半導体領域1 3 3から真性半導体領域1 3 1であるリブ部1 3 1 aにキャリアが供給され、供給されたキャリアはリブ部1 3 1 aに蓄積されて、キャリアのプラズマ効果により、第3合流導波路7 3及び第4合流導波路7 4間の導波路7 3 aを伝搬するモード光のうち、1次モード光として伝搬している光の位相を [rad] だけ変化させる一方、0次モード光の位相は反転せずにそのままとすることができる。

すなわち、第3合流導波路7 3及び第4合流導波路7 4間の導波路7 3 aを伝搬するモード光(反転1次モード光、1次モード光、0次モード光、反転0次モード光)は、0次モード光はそのまま0次モード光となり、反転0次モード光はそのまま反転0次モード光となり、1次モード光が反転1次モード光となり、反転1次モード光が1次モード光となり、第3合流導波路7 3にモード光(1次モード光、反転1次モード光、0次モード光、反転0次モード光)として入射する。

【0 1 3 3】

そして、第2合流導波路7 2から第4合流導波路7 4に入射したモード光(1次モード

10

20

30

40

50

光、1次モード光、0次モード光、0次モード光)と第3合流導波路73から屈折率変化手段8(位相変化領域C)を介して第4合流導波路74に入射した(1次モード光、反転1次モード光、0次モード光、反転0次モード光)とは、第4合流導波路74によりそれぞれ結合された後に、出力ポート2から出射する。

この場合に、第2合流導波路72から第4合流導波路74に入射した1次モード光と第3合流導波路73から屈折率変化手段8(位相変化領域D)を介して第4合流導波路74に入射した1次モード光とは、第4合流導波路74により結合されて3次モード光として出力ポート2から出射する。

また第2合流導波路72から第4合流導波路74に入射した1次モード光と第3合流導波路73から屈折率変化手段8(位相変化領域D)を介して第4合流導波路74に入射した反転1次モード光とは、第4合流導波路74により結合されて2次モード光として出力ポート2から出射する。

10

また、第2合流導波路72から第4合流導波路74に入射した0次モード光と第3合流導波路73から屈折率変化手段8(位相変化領域D)を介して第4合流導波路74に入射した0次モード光とは、第4合流導波路74により結合されて0次モード光として出力ポート2から出射する。

また、第2合流導波路72から第4合流導波路74に入射した1次モード光と第3合流導波路73から屈折率変化手段8(位相変化領域D)を介して第4合流導波路74に入射した反転0次モード光とは、第4合流導波路74により結合されて1次モード光として出力ポート2から出射する。

20

【0134】

このように、モード間光スイッチ100は、表1に示す第8のスイッチングパターンにより、入力ポート1に入力された0次モード光を3次モード光に変換して出力ポート2から出力し、入力ポート1に入力された1次モード光を2次モード光に変換して出力ポート2から出力し、入力ポート1に入力された2次モード光を0次モード光に変換して出力ポート2から出力し、入力ポート1に入力された3次モード光を1次モード光に変換して出力ポート2から出力することができる。

【0135】

また、本実施形態に係るモード間光スイッチ100は、入力ポート1から0次モード光を入力し、6つの屈折率変化手段8(位相変化領域A、位相変化領域B、位相変化領域C、位相変化領域D、位相変化領域E、位相変化領域F)を適宜選択することにより、図17(a)に示すように、出力ポート2から0次モード光を出力し、図17(b)に示すように、出力ポート2から1次モード光を出力し、図17(c)に示すように、出力ポート2から2次モード光を出力し、図17(c)に示すように、出力ポート2から0次モード光を出力することが、ビーム伝搬法(beam propagation method: BPM)シミュレーションで確認することができた。

30

【0136】

モード間光スイッチでは、従来の空間型光スイッチで使用されるポート情報の代わりに、モード情報が用いられるため、ポート間のクロストークの代わりにモード間のクロストークについて議論することが必要である。

40

表2は、各入力モード(0次モード光、1次モード光、2次モード光、3次モード光)を各出力モード(0次モード光、1次モード光、2次モード光、3次モード光)に変換するための屈折率変化手段8における最適な屈折率変化とその時の最低のモード間クロストークの結果を示している。

【0137】

【表 2】

入力モード [*]	出力モード [*]	屈折率変化	クロストーク [dB]
0	0	0	-31.8
	1	-0.0054	-29.7
	2	-0.0054	-24.2
	3	-0.0054	-32.2
1	0	0	-26.0
	1	-0.0054	-21.1
	2	-0.0054	-27.5
	3	-0.0054	-19.1
2	0	0	-24.0
	1	-0.0054	-31.7
	2	-0.0054	-32.0
	3	-0.0054	-29.1
3	0	0	-27.2
	1	-0.0054	-19.0
	2	-0.0054	-26.2
	3	-0.0054	-21.1

10

20

【0138】

表 2 に示すように、入力モードである 3 次モード光が出力モードである 1 次モード光に変換された場合に、最悪のモード間クロストークは、-19.0 dB 未満であると推定される。

【0139】

以上のように、本実施形態に係るモード間光スイッチ 100 は、0 次モード光、1 次モード光、2 次モード光又は 3 次モード光を、0 次モード光、1 次モード光、2 次モード光又は 3 次モード光に変換する 4 種類のモード（0 次モード、1 次モード、2 次モード、3 次モード）光に対応することができるという作用効果を奏する。

30

【0140】

なお、本実施形態に係るモード間光スイッチ 100 は、24 通りの出力モードを作り出すことができる、屈折率変化手段 8 の数を最も少なくする配置としているが、第 1 Y 分岐導波路 6 1 の分岐後の他の導波路 6 1 b、第 1 合流導波路 7 1 及び第 4 Y 分岐導波路 6 4 間の導波路 7 1 a、第 4 Y 分岐導波路 6 4 の分岐後の一の導波路 6 4 a 及び他の導波路 6 4 b、第 3 Y 分岐導波路 6 3 の分岐後の他の導波路 6 3 b、並びに、第 3 合流導波路 7 3 及び第 4 合流導波路 7 4 間の導波路 7 3 a 以外に、屈折率変化手段 8 を配設させてもよい。

例えば、モード間光スイッチ 100 は、図 16 (c) に示すように、第 1 Y 分岐導波路 6 1 の分岐後の一の導波路 6 1 a、第 2 Y 分岐導波路 6 2 の分岐後の他の導波路 6 2 b、第 3 Y 分岐導波路 6 3 の分岐後の他の導波路 6 3 b、並びに、第 2 合流導波路 7 2 及び第 4 合流導波路 7 4 間の導波路 7 2 a にも、屈折率変化手段 8 を配設させることが考えられる。この構成により、モード間光スイッチ 100 は、複数の屈折率変化手段 8 のうちいずれかの屈折率変化手段 8 に不具合が生じた場合に、不具合が生じていない屈折率変化手段 8 を機能させることにより、所望の 24 通りの出力モードを作り出すことができる。

40

なお、図 16 (c) に示すモード間光スイッチ 100 は、屈折率変化手段 8 を直線状導波路に配設させているが、曲線状導波路に配設させてもよい。

【0141】

(本発明の第 6 の実施形態)

50

図18(a)は第6の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、図18(b)は第6の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の他の一例を示す平面図である。図18において、図1乃至図17と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

【0142】

前述した第5の実施形態においては、0次モード光～3次モード光を0次モード光～3次モード光に変換する4種類のモード(0次モード、1次モード、2次モード、3次モード)光に対応するモード間光スイッチ100について説明した。

これに対し、本実施形態においては、モード間光スイッチ100の機能をさらに拡張し、0次モード光～7次モード光を0次モード光～7次モード光に変換する8種類のモード(0次モード、1次モード、2次モード、3次モード、4次モード、5次モード、6次モード、7次モード)光に対応するモード間光スイッチ100について説明する。

【0143】

本実施形態に係るモード変換手段は、図18(a)に示すように、入力ポート1から入力されるモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第1Y分岐導波路261」と称す)と、第1Y分岐導波路261の分岐後の一の導波路261aを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第2Y分岐導波路262」と称す)と、第1Y分岐導波路261の分岐後の他の導波路261bを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第3Y分岐導波路263」と称す)と、第2Y分岐導波路262の分岐後の一の導波路262aを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第4Y分岐導波路264」と称す)と、第2Y分岐導波路262の分岐後の他の導波路262bを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第5Y分岐導波路265」と称す)と、第3Y分岐導波路263の分岐後の一の導波路263aを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第6Y分岐導波路266」と称す)と、第3Y分岐導波路263の分岐後の他の導波路263bを伝播するモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第7Y分岐導波路267」と称す)と、後述する第1合流導波路271から入力されるモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第8Y分岐導波路268」と称す)と、後述する第2合流導波路272から入力されるモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第9Y分岐導波路269」と称す)と、後述する第3合流導波路273から入力されるモード光を2つに分岐するY分岐導波路(以下、「第10Y分岐導波路260」と称す)と、を備える。

【0144】

また、本実施形態に係るモード変換手段は、第4Y分岐導波路264の分岐後の一の導波路264aを伝播するモード光及び第5Y分岐導波路265の分岐後の一の導波路265aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第1合流導波路271」と称す)と、第5Y分岐導波路265の分岐後の他の導波路265bを伝播するモード光及び第6Y分岐導波路266の分岐後の一の導波路266aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第2合流導波路272」と称す)と、第6Y分岐導波路266の分岐後の他の導波路266bを伝播するモード光及び第7Y分岐導波路267の分岐後の一の導波路267aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第3合流導波路273」と称す)と、第4Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264bを伝播するモード光及び第8Y分岐導波路268の分岐後の一の導波路268aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第4合流導波路274」と称す)と、第8Y分岐導波路268の分岐後の他の導波路268bを伝播するモード光及び第9Y分岐導波路269の分岐後の一の導波路269aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第5合流導波路275」と称す)と、第9Y分岐導波路269の分岐後の他の導波路269bを伝播するモード光及び第10Y分岐導波路260の分岐後の一の導波路260aを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「第6合流導波路276」と称す)と、第7Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267bを伝播するモード光及び第10Y分岐導波路260の分岐後の他の導波路260bを伝播するモード光を結合する合流導波路(以下、「

10

20

30

40

50

第7合流導波路277」と称す)と、第4合流導波路274から入力されるモード光及び第5合流導波路275から入力されるモード光を結合する合流導波路(以下、「第8合流導波路278」と称す)と、第6合流導波路276から入力されるモード光及び第7合流導波路277から入力されるモード光を結合する合流導波路(以下、「第9合流導波路279」と称す)と、第8合流導波路278から入力されるモード光及び第9合流導波路279から入力されるモード光を結合して出力ポート2から出力する合流導波路(以下、「第10合流導波路270」と称す)と、を備える。

【0145】

本実施形態に係る屈折率変化手段8は、図18(a)に示すように、第2Y分岐導波路262の分岐後の他の導波路262b、第3Y分岐導波路263の分岐後の一の導波路263a及び他の導波路263b、第1合流導波路271及び第8Y分岐導波路268間の導波路271a、第2合流導波路272及び第9Y分岐導波路269間の導波路272a、第3合流導波路273及び第10Y分岐導波路260間の導波路273a、第8Y分岐導波路268の分岐後の一の導波路268a及び他の導波路268b、第9Y分岐導波路269の分岐後の一の導波路269a及び他の導波路269b、第10Y分岐導波路260の分岐後の一の導波路260a及び他の導波路260b、第7Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b、第5合流導波路275及び第8合流導波路278間の導波路275a、第6合流導波路276及び第9合流導波路279間の導波路276a、並びに、第7合流導波路277及び第9合流導波路279間の導波路277aに配設される。

【0146】

特に、本実施形態に係るモード間光スイッチ100は、0次モード光～7次モード光の8種類のモード光が入力モードとして入力ポート1に入力されるため、出力モードとして出力ポート2から出力されるモード光の順番(順列)としては、8の階乗(8!)である40320通りが考えられる。但し、図18(a)に示す屈折率変化手段8の配置であれば、65536(=2³×2³×2⁷×2³)通りのスイッチングパターンが存在する。

【0147】

なお、この第6の実施形態においては、0次モード光～7次モード光の8種類のモード光に対応するところのみが第5の実施形態と異なるところであり、モード間光スイッチ100の動作については、第5の実施形態に係るモード間光スイッチ100の動作から容易に類推できるために説明を省略する。

【0148】

以上のように、本実施形態に係るモード間光スイッチ100は、0次モード光～7次モード光を、0次モード光～7次モード光に変換する8種類のモード(0次モード、1次モード、2次モード、3次モード、4次モード、5次モード、6次モード、7次モード)光に対応することができるという作用効果を奏する。

【0149】

なお、本実施形態に係るモード間光スイッチ100は、所望の40320通りの出力モードを作り出すことができる、屈折率変化手段8の数を最も少なくする配置としているが、第2Y分岐導波路262の分岐後の他の導波路262b、第3Y分岐導波路263の分岐後の一の導波路263a及び他の導波路263b、第1合流導波路271及び第8Y分岐導波路268間の導波路271a、第2合流導波路272及び第9Y分岐導波路269間の導波路272a、第3合流導波路273及び第10Y分岐導波路260間の導波路273a、第8Y分岐導波路268の分岐後の一の導波路268a及び他の導波路268b、第9Y分岐導波路269の分岐後の一の導波路269a及び他の導波路269b、第10Y分岐導波路260の分岐後の一の導波路260a及び他の導波路260b、第7Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b、第5合流導波路275及び第8合流導波路278間の導波路275a、第6合流導波路276及び第9合流導波路279間の導波路276a、並びに、第7合流導波路277及び第9合流導波路279間の導波路277a以外に、屈折率変化手段8を配設させてもよい。

例えば、図18(b)に示すように、モード間光スイッチ100は、第1Y分岐導波路

261の分岐後の他の導波路261b、並びに、第9合流導波路279及び第10合流導波路270間の導波路279aにも、屈折率変化手段8を配設させることが考えられる。

また、モード間光スイッチ100は、第1Y分岐導波路261の分岐後の一の導波路261a及び他の導波路261b、第2Y分岐導波路262の分岐後の一の導波路262a、第4Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b、第4合流導波路274及び第8合流導波路278間の導波路274a、第8合流導波路278及び第10合流導波路270間の導波路278a、並びに、第9合流導波路279及び第10合流導波路270間の導波路279aにも、屈折率変化手段8を配設させることが考えられる。この構成により、モード間光スイッチ100は、複数の屈折率変化手段8のうちいずれかの屈折率変化手段8に不具合が生じた場合に、不具合が生じていない屈折率変化手段8を機能させることにより、所望の40320通りの出力モードを作り出すことができる。

10

【0150】

(本発明のその他の実施形態)

前述した第5の実施形態においては、0次モード光～3次モード光を0次モード光～3次モード光に変換する4種類のモード(0次モード、1次モード、2次モード、3次モード)光に対応するモード間光スイッチ100について説明した。

また、前述した第6の実施形態においては、0次モード光～7次モード光を0次モード光～7次モード光に変換する8種類のモード(0次モード、1次モード、2次モード、3次モード、4次モード、5次モード、6次モード、7次モード)光に対応するモード間光スイッチ100について説明した。

20

これに対し、本実施形態においては、モード間光スイッチ100の導波路(Y分岐導波路、合流導波路)及び屈折率変化手段8の配置を一般化し、0次モード光乃至 $2^n - 1$ 次モード光(n は2以上の整数)である 2^n 種類のモード光に対応するモード間光スイッチ100について説明する。

【0151】

なお、以下の説明においては、第6の実施形態に係るモード間光スイッチ100の概略構成を示す平面図(図18(a))を参照して説明するが、このモード間光スイッチ100に限られるものではない。

【0152】

モード変換手段は、入力ポート1に接続され、モード光を2つに分岐するY分岐導波路(第1Y分岐導波路261、第2Y分岐導波路262、第3Y分岐導波路263)が一又は複数配設される入力段領域310を備える。

30

【0153】

また、モード変換手段は、出力ポート2に接続され、2つのモード光を結合する合流導波路(第10合流導波路270、第8合流導波路278、第9合流導波路279)が一又は複数配設される出力段領域320を備える。

【0154】

また、モード変換手段は、入力段領域310及び出力段領域320間に配設され、0次モード光を伝搬させる 2^n 本(8本)の導波路(第4Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b、第8Y分岐導波路268の分岐後の一の導波路268a及び他の導波路268b、第9Y分岐導波路269の分岐後の一の導波路269a及び他の導波路269b、第10Y分岐導波路260の分岐後の一の導波路260a及び他の導波路260b、第7Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b)が並設される基準領域300を備える。

40

【0155】

さらに、モード変換手段は、基準領域300の前段に配設され、基準領域300における最外側の2本の導波路にそれぞれ接続される2本の導波路(第4Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b、第7Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b)と、基準領域300における最外側の2本の導波路を除く隣り合う2本の導波路に分岐する $2^{n-1} - 1$ 本(3本)のY分岐導波路(第8Y分岐導波路268、第9Y分岐導波路

50

269、第10 Y分岐導波路260)に接続される $2^{n-1} - 1$ 本の導波路(第1合流導波路271及び第8 Y分岐導波路268間の導波路271a、第2合流導波路272及び第9 Y分岐導波路269間の導波路272a、第3合流導波路273及び第10 Y分岐導波路260間の導波路273a)と、が並設される前段領域301を備える。

【0156】

また、モード変換手段は、前段領域301の前段に配設され、前段領域301における $2^{n-1} - 1$ 本(3本)の導波路に結合する $2^{n-1} - 1$ 本の合流導波路(第1合流導波路271、第2合流導波路272、第3合流導波路273)と当該 $2^{n-1} - 1$ 本(3本)の合流導波路の結合前の $2^n - 2$ 本(6本)の導波路(第4 Y分岐導波路264の分岐後の一の導波路264a、第5 Y分岐導波路265の分岐後の一の導波路265a及び他の導波路265b、第6 Y分岐導波路266の分岐後の一の導波路266a及び他の導波路266b、第7 Y分岐導波路267の分岐後の一の導波路267a)及び前段領域301における最外側の2本の導波路にそれぞれ接続される2本の導波路(第4 Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b、第7 Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b)のうち隣り合う 2^n 本(8本)の導波路に分岐する 2^{n-1} 本(4本)の Y分岐導波路(第4 Y分岐導波路264、第5 Y分岐導波路265、第6 Y分岐導波路266、第7 Y分岐導波路267)とを介して、 2^{n-1} 本(4本)の導波路(第2 Y分岐導波路262の分岐後の一の導波路262a及び他の導波路262b、第3 Y分岐導波路263の分岐後の一の導波路263a及び他の導波路263b)が並設される前々段領域302を備える。

10

20

【0157】

また、モード変換手段は、基準領域300の後段に配設され、基準領域300における隣り合う2本の導波路を結合する 2^{n-1} 本(4本)の合流導波路(第4合流導波路274、第5合流導波路275、第6合流導波路276、第7合流導波路277)に接続される 2^{n-1} 本(4本)の導波路(第4合流導波路274及び第8合流導波路278間の導波路274a、第5合流導波路275及び第8合流導波路278間の導波路275a、第6合流導波路276及び第9合流導波路279間の導波路276a、第7合流導波路277及び第9合流導波路279間の導波路277a)が並設される後段領域303を備える。

【0158】

本実施形態に係る屈折率変化手段8は、基準領域300における最外側の1本の導波路(第4 Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b)を除く $2^n - 1$ 本(7本)の導波路(第8 Y分岐導波路268の分岐後の一の導波路268a及び他の導波路268b、第9 Y分岐導波路269の分岐後の一の導波路269a及び他の導波路269b、第10 Y分岐導波路260の分岐後の一の導波路260a及び他の導波路260b、第7 Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b)、前段領域301における最外側の2本の導波路(第4 Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b、第7 Y分岐導波路267の分岐後の他の導波路267b)を除く $2^{n-1} - 1$ 本(3本)の導波路(第1合流導波路271及び第8 Y分岐導波路268間の導波路271a、第2合流導波路272及び第9 Y分岐導波路269間の導波路272a、第3合流導波路273及び第10 Y分岐導波路260間の導波路273a)、基準領域300で除いた最外側の1本の導波路(第4 Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b)を経路としない前々段領域302における最外側の1本の導波路(第2 Y分岐導波路262の分岐後の一の導波路262a)を除く $2^{n-1} - 1$ 本(3本)の導波路(第2 Y分岐導波路262の分岐後の他の導波路262b、第3 Y分岐導波路263の分岐後の一の導波路263a及び他の導波路263b)、及び、基準領域300で除いた最外側の1本の導波路(第4 Y分岐導波路264の分岐後の他の導波路264b)を経路としない後段領域303における最外側の1本の導波路(第4合流導波路274及び第8合流導波路278間の導波路274a)を除く $2^{n-1} - 1$ 本(3本)の導波路(第5合流導波路275及び第8合流導波路278間の導波路275a、第6合流導波路276及び第9合流導波路279間の導波路276a、第

30

40

50

7 合流導波路 2 7 7 及び第 9 合流導波路 2 7 9 間の導波路 2 7 7 a) に配設される。

【 0 1 5 9 】

特に、本実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 は、0 次モード光 ~ 2ⁿ - 1 次モード光の 2ⁿ 種類のモード光が入力モードとして入力ポート 1 に入力されるため、出力モードとして出力ポート 2 から出力されるモード光の順番 (順列) としては、2ⁿ の階乗 (2ⁿ !) 通りが考えられる。

【 0 1 6 0 】

なお、本実施形態においては、モード間光スイッチ 1 0 0 の導波路 (Y 分岐導波路、合流導波路) 及び屈折率変化手段 8 の配置を一般化したところのみが第 5 の実施形態及び第 6 の実施形態と異なるところであり、モード間光スイッチ 1 0 0 の動作については、第 5 10 の実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 の動作から容易に類推できるために説明を省略する。

【 0 1 6 1 】

なお、本実施形態に係るモード間光スイッチ 1 0 0 は、所望の 2ⁿ の階乗 (2ⁿ !) 通りの出力モードを作り出すことができる、屈折率変化手段 8 の数を最も少なくする配置としているが、これ以外の導波路に屈折率変化手段 8 を配設させてもよい。

例えば、モード間光スイッチ 1 0 0 は、全ての直線状導波路に屈折率変化手段 8 を配設させることにより、モード間光スイッチ 1 0 0 は、複数の屈折率変化手段 8 のうちいずれかの屈折率変化手段 8 に不具合が生じた場合に、不具合が生じていない屈折率変化手段 8 20 を機能させることにより、所望の 2ⁿ の階乗 (2ⁿ !) 通りの出力モードを作り出すことができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 6 2 】

- 1 入力ポート
- 2 出力ポート
- 3 屈折率変化領域
- 3 a トレンチ
- 4 a 第 1 の電極
- 4 b 第 2 の電極
- 5 コンタクトホール
- 5 a 第 1 の接続部
- 5 b 第 2 の接続部
- 6 入力導波路
- 7 出力導波路
- 8 屈折率変化手段
- 1 0 導波路
- 1 1 第 1 の直線状導波路
- 1 2 第 2 の直線状導波路
- 1 3 第 3 の直線状導波路
- 1 4 曲線状導波路
- 2 0 Y 分岐導波路
- 2 1 第 1 の分岐導波路
- 2 2 第 2 の分岐導波路
- 2 3 分岐前導波路
- 3 0 合流導波路
- 3 1 第 1 の合流導波路
- 3 2 第 2 の合流導波路
- 3 3 合流後導波路
- 4 0 1 × 2 型 M M I 導波路
- 5 0 2 × 1 型 M M I 導波路

10

20

30

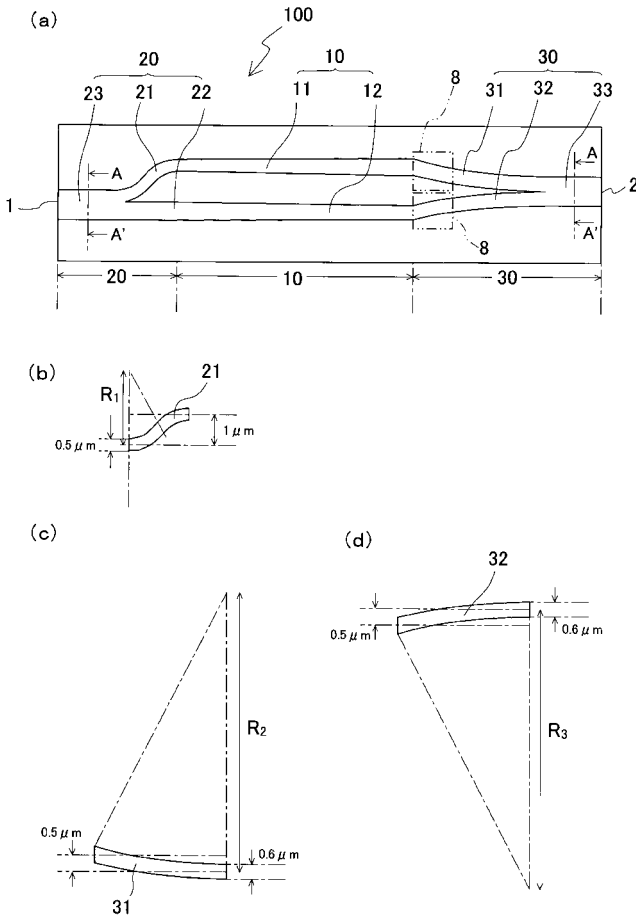
40

50

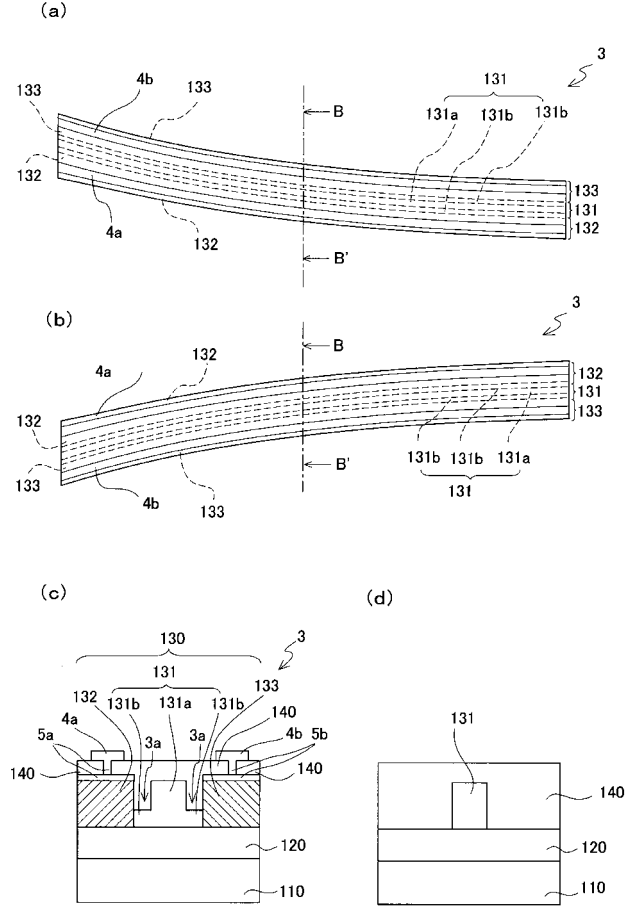
6 1	第 1 Y 分岐導波路	
6 1 a	一の導波路	
6 1 b	他の導波路	
6 2	第 2 Y 分岐導波路	
6 2 a	一の導波路	
6 2 b	他の導波路	
6 3	第 3 Y 分岐導波路	
6 3 a	一の導波路	
6 3 b	他の導波路	
6 4	第 4 Y 分岐導波路	10
6 4 a	一の導波路	
6 4 b	他の導波路	
7 1	第 1 合流導波路	
7 1 a	導波路	
7 2	第 2 合流導波路	
7 2 a	導波路	
7 3	第 3 合流導波路	
7 3 a	導波路	
7 4	第 4 合流導波路	
1 0 0	モード間光スイッチ	20
1 1 0	基板	
1 2 0	第 1 のクラッド層	
1 3 0	半導体層	
1 3 1	真性半導体領域	
1 3 1 a	リブ部	
1 3 1 b	スラブ部	
1 3 2	p 型半導体領域	
1 3 3	n 型半導体領域	
1 4 0	第 2 のクラッド層	
1 5 1	第 1 の金属層	30
1 5 2	第 2 の金属層	
1 6 1 , 1 6 2 , 1 6 3 , 1 6 4 , 1 6 5 , 1 6 6	マスク	
2 6 0	第 1 0 Y 分岐導波路	
2 6 0 a	一の導波路	
2 6 0 b	他の導波路	
2 6 1	第 1 Y 分岐導波路	
2 6 1 a	一の導波路	
2 6 1 b	他の導波路	
2 6 2	第 2 Y 分岐導波路	
2 6 2 a	一の導波路	40
2 6 2 b	他の導波路	
2 6 3	第 3 Y 分岐導波路	
2 6 3 a	一の導波路	
2 6 3 b	他の導波路	
2 6 4	第 4 Y 分岐導波路	
2 6 4 a	一の導波路	
2 6 4 b	他の導波路	
2 6 5	第 5 Y 分岐導波路	
2 6 5 a	一の導波路	
2 6 5 b	他の導波路	50

2 6 6	第 6 Y 分岐導波路	
2 6 6 a	一の導波路	
2 6 6 b	他の導波路	
2 6 7	第 7 Y 分岐導波路	
2 6 7 a	一の導波路	
2 6 7 b	他の導波路	
2 6 8	第 8 Y 分岐導波路	
2 6 8 a	一の導波路	
2 6 8 b	他の導波路	
2 6 9	第 9 Y 分岐導波路	10
2 6 9 a	一の導波路	
2 6 9 b	他の導波路	
2 7 0	第 1 0 合流導波路	
2 7 1	第 1 合流導波路	
2 7 1 a	導波路	
2 7 2	第 2 合流導波路	
2 7 2 a	導波路	
2 7 3	第 3 合流導波路	
2 7 3 a	導波路	
2 7 4	第 4 合流導波路	20
2 7 4 a	導波路	
2 7 5	第 5 合流導波路	
2 7 5 a	導波路	
2 7 6	第 6 合流導波路	
2 7 6 a	導波路	
2 7 7	第 7 合流導波路	
2 7 7 a	導波路	
2 7 8	第 8 合流導波路	
2 7 8 a	導波路	
2 7 9	第 9 合流導波路	30
2 7 9 a	導波路	
3 0 0	基準領域	
3 0 1	前段領域	
3 0 2	段領域	
3 0 3	後段領域	
3 1 0	入力段領域	
3 2 0	出力段領域	

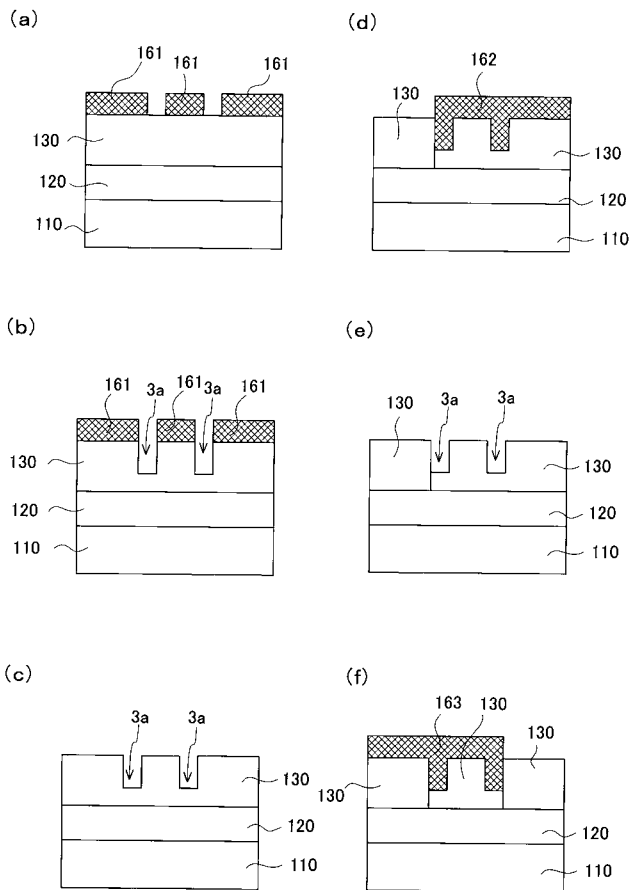
【 図 1 】



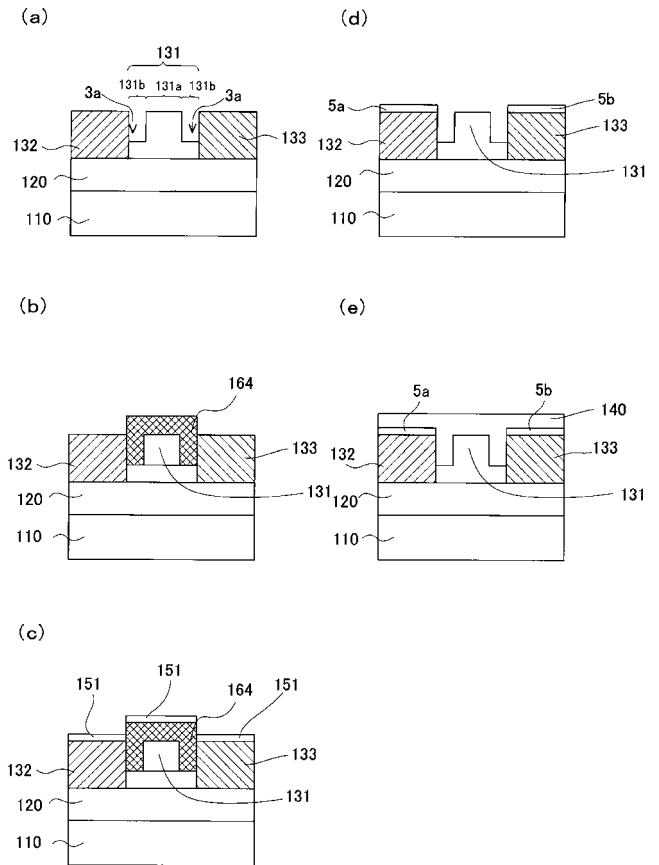
【 図 2 】



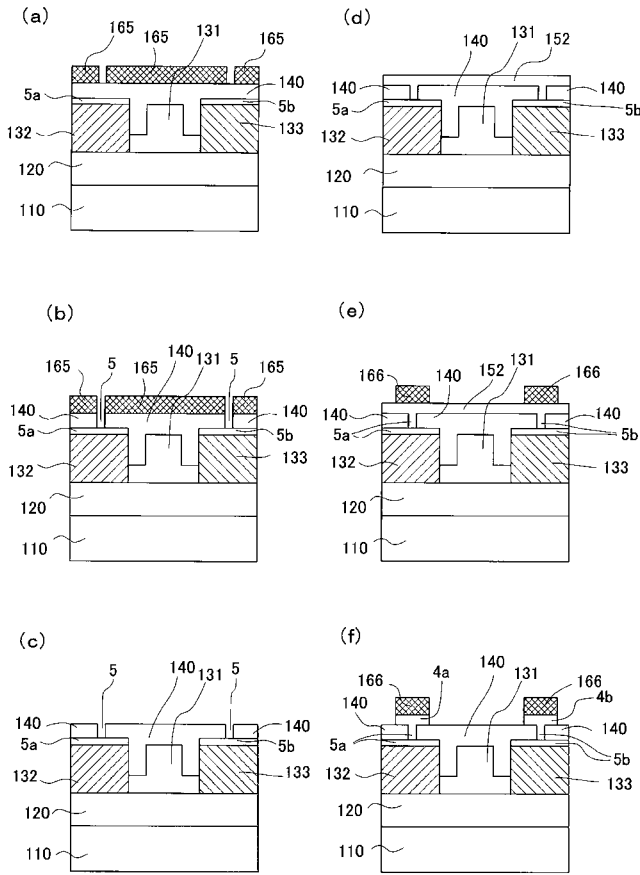
【 図 3 】



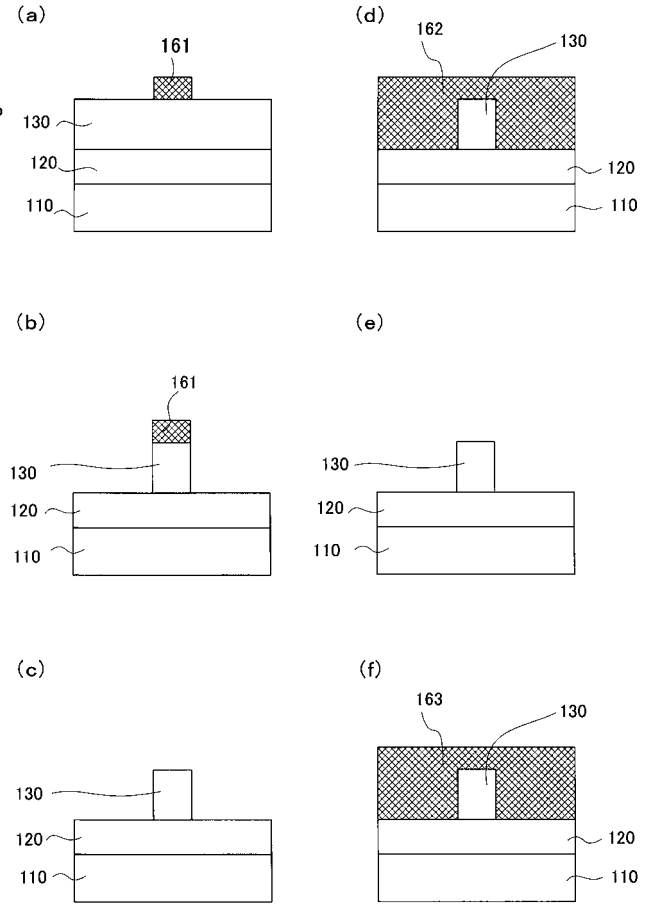
【 図 4 】



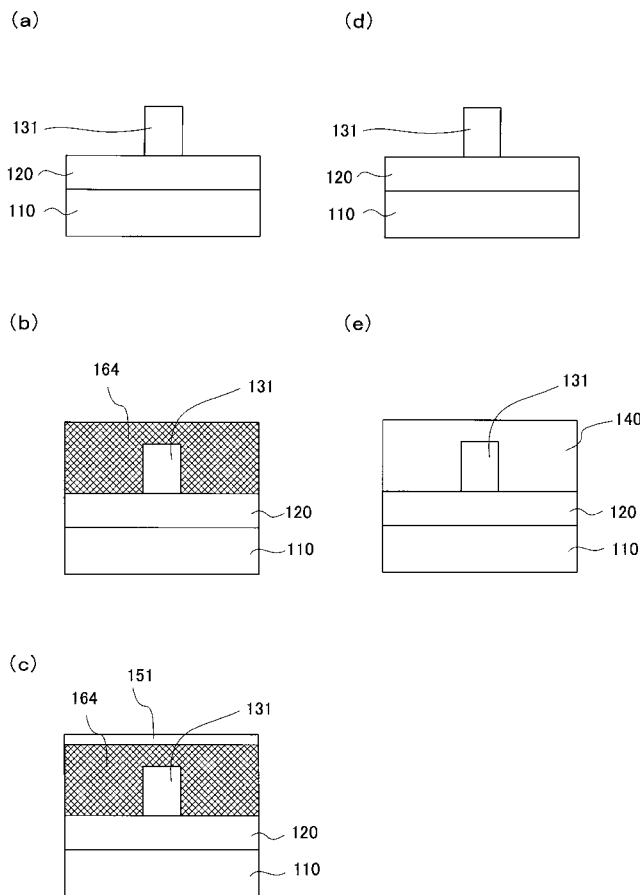
【 図 5 】



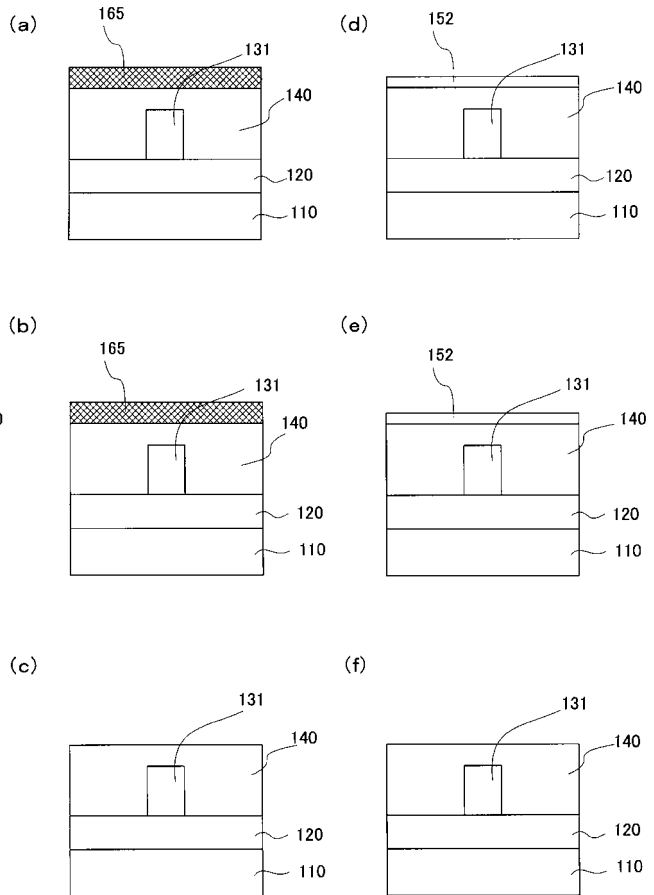
【 図 6 】



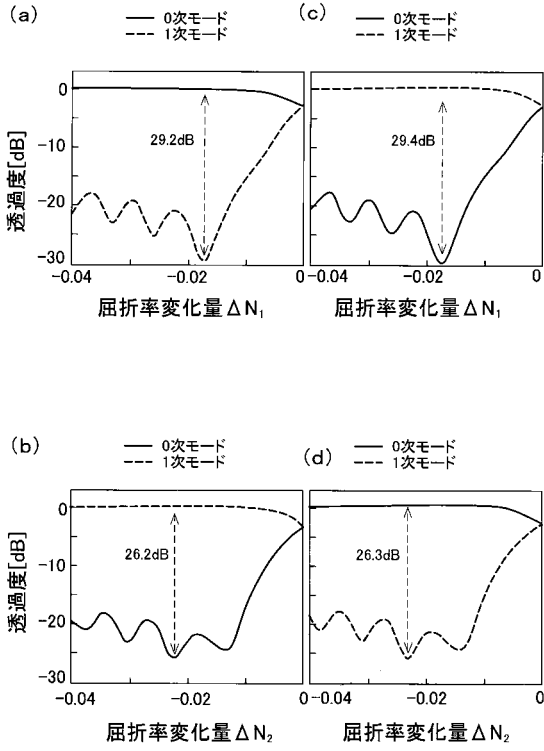
【 図 7 】



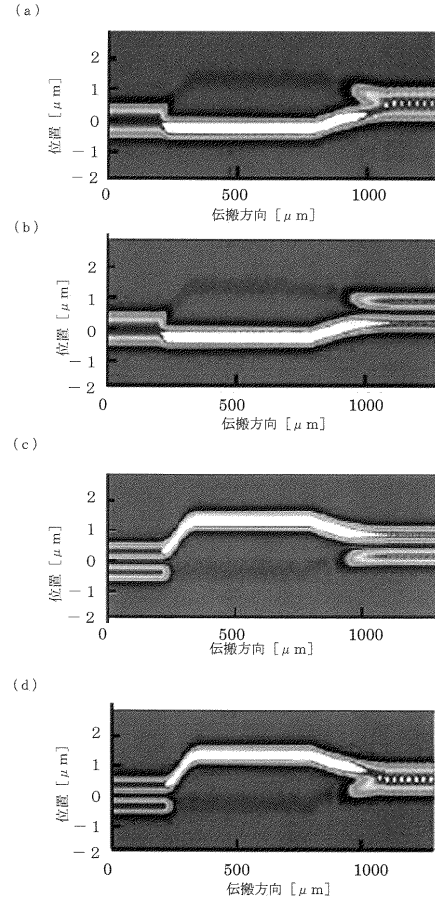
【 図 8 】



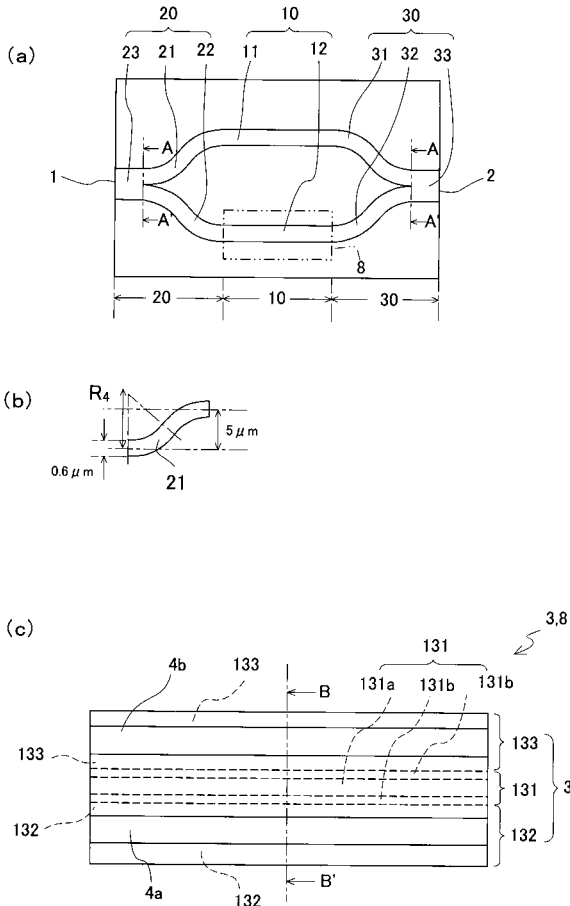
【 図 9 】



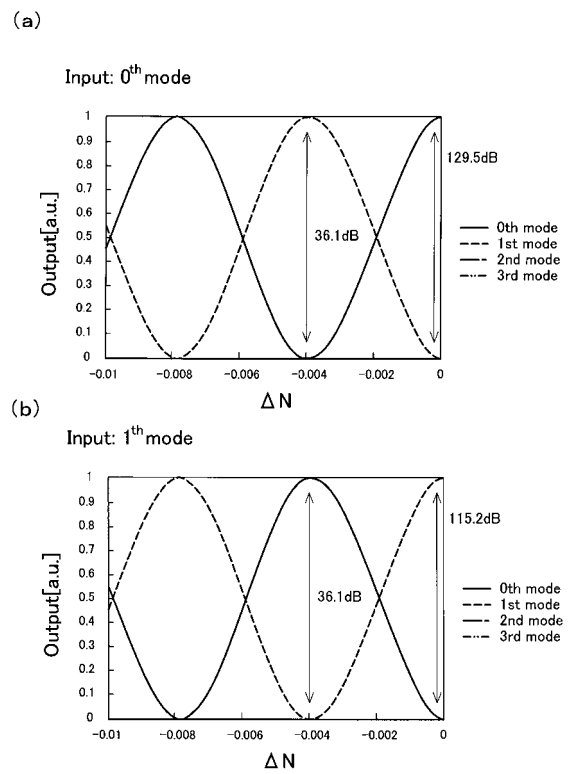
【 図 1 0 】



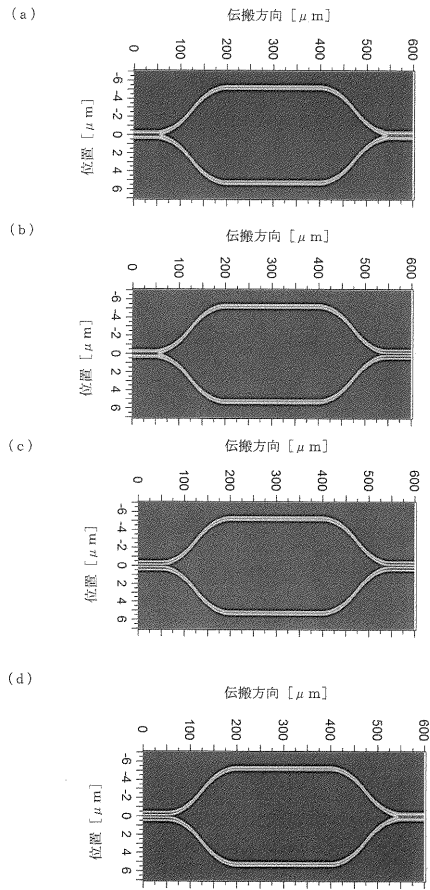
【 図 1 1 】



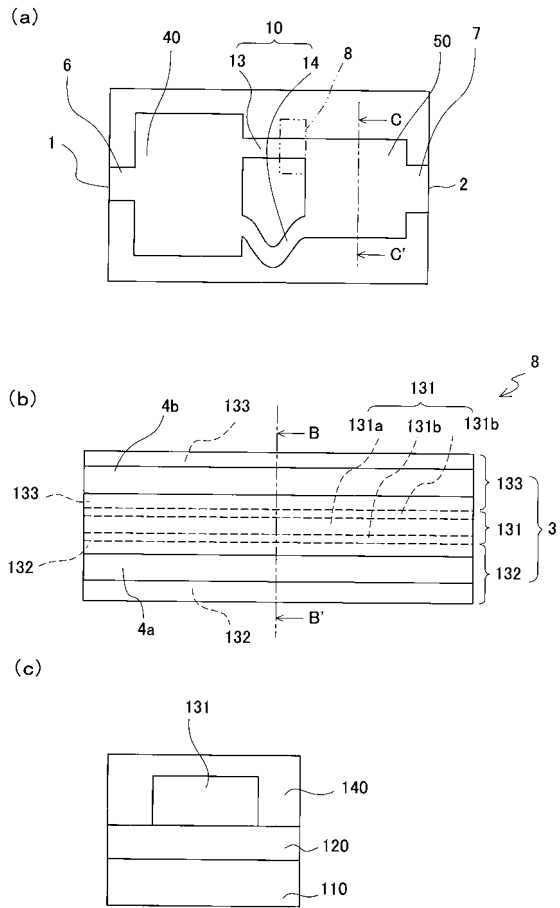
【 図 1 2 】



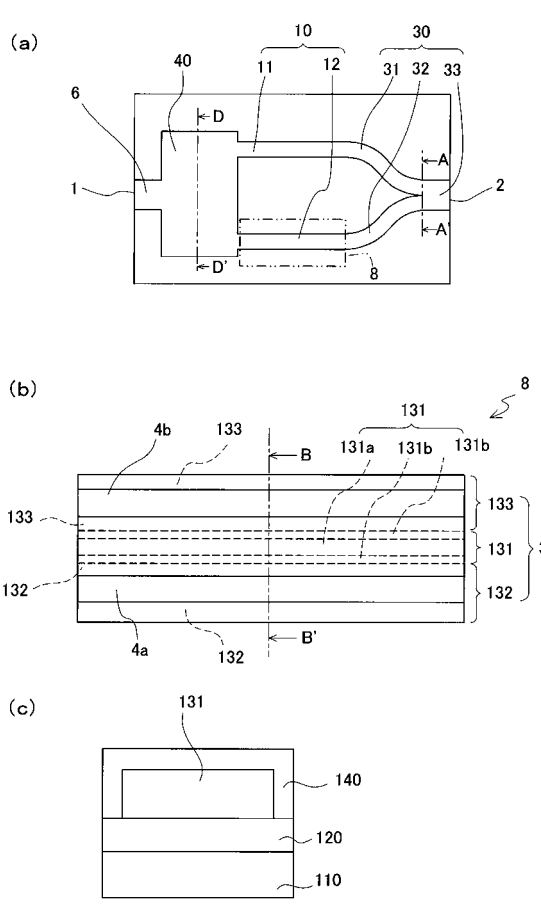
【図 1 3】



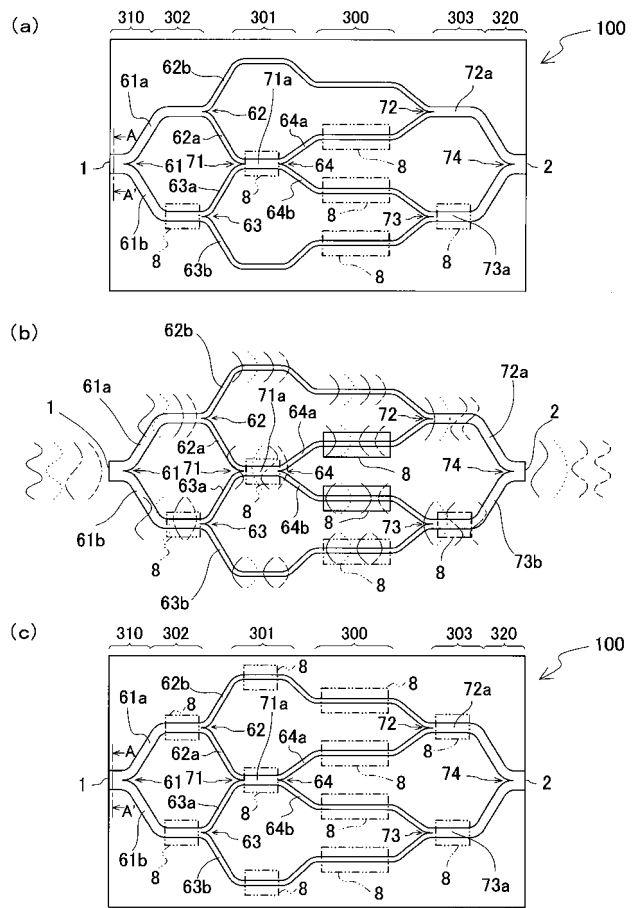
【図 1 4】



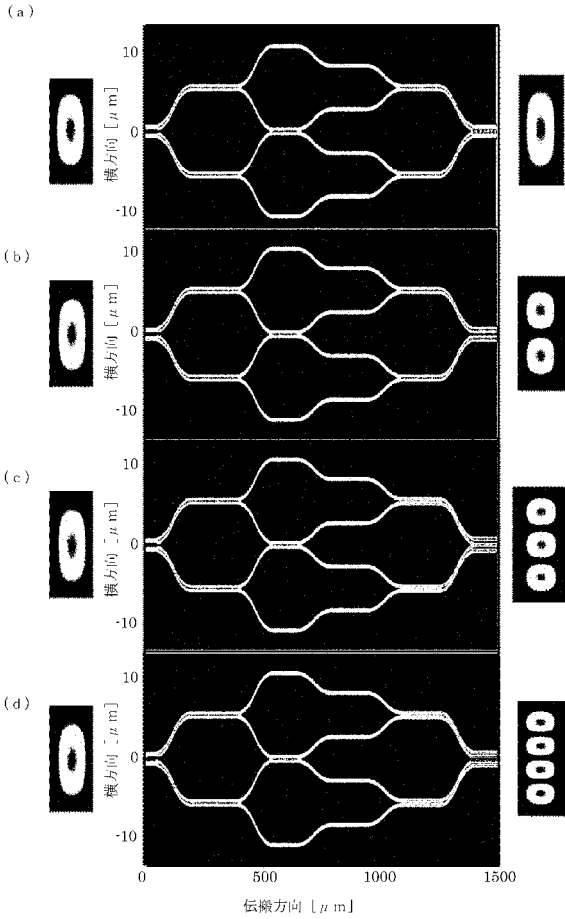
【図 1 5】



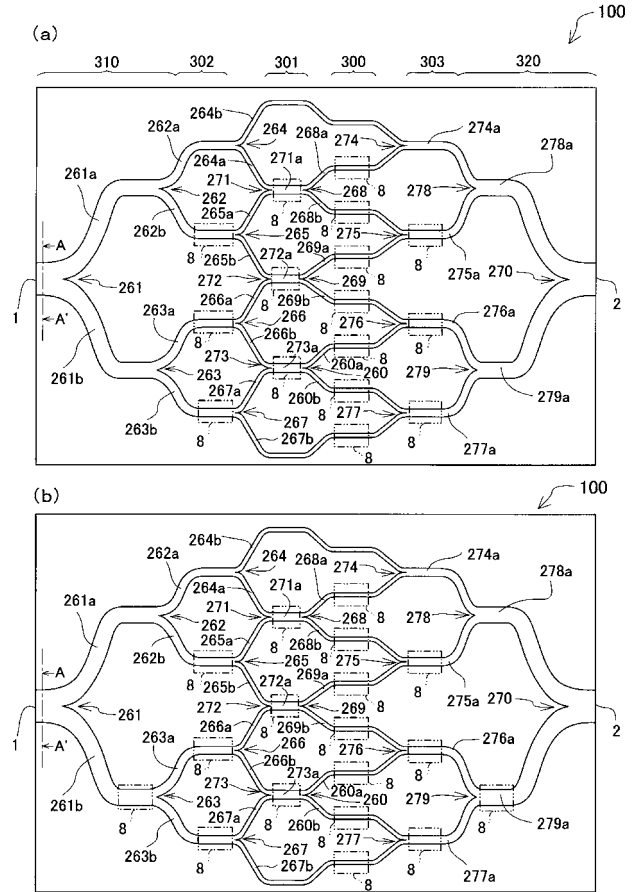
【図 1 6】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】 平成26年6月25日 (2014.6.25)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

基板上に配設される単一の入力ポートと、前記基板上に配設される単一の出力ポートと、当該入力ポート及び出力ポート間における前記基板上に配設され、前記入力ポートから入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力するモード変換手段と、を備えるモード間光スイッチにおいて、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートから入力されたモード光を分岐する光分岐導波路と、

前記光分岐導波路に接続され、前記基板に対して略水平に並設される複数の導波路と、

前記光分岐導波路の後段に配設され、導波路のコアの屈折率を変化させる屈折率変化手段と、

前記屈折率変化手段の後段に配設され、前記光分岐導波路で分岐されたモード光を結合して前記出力ポートから出力する光合波導波路と、

を備え、

前記屈折率変化手段により変化させた屈折率に応じて、前記入力ポートに入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力することを特徴とするモード間光スイッチ。

【 請求項 2 】

前記請求項 1 に記載のモード間光スイッチにおいて、
前記屈折率変化手段が、前記導波路のコアを挟んで、対向する位置に配設される一対の電極を備えることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 3】

前記請求項 1 又は 2 に記載のモード間光スイッチにおいて、
前記基板上に積層された第 1 のクラッド層と、
前記第 1 のクラッド層上に積層され、前記第 1 のクラッド層の屈折率よりも屈折率が高い真性半導体領域を含む半導体層と、
前記半導体層上に積層され、前記半導体の屈折率よりも屈折率が低い第 2 のクラッド層と、

を備え、

前記屈折率変化手段は、

前記半導体層の真性半導体に不純物を添加してなる p 型半導体領域及び n 型半導体領域を前記真性半導体領域と共に導波方向に沿って並設して p i n 接合を構成する屈折率変化領域と、

を備えることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 4】

前記請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のモード間光スイッチにおいて、
前記モード変換手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路を備え、

前記光分岐導波路が、前記入力ポート及び 2 本の導波路間に配設される Y 分岐導波路であり、

前記光合流導波路が、前記出力ポート及び 2 本の導波路間に配設される合流導波路であり、

前記屈折率変化手段が、前記 2 本の導波路のうち少なくとも一方、又は、前記合流導波路の合流する導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 5】

前記請求項 4 に記載のモード間光スイッチにおいて、
前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路が、直線状導波路であり、
前記 Y 分岐導波路が、分岐する 2 本の導波路を平面視において導波路幅を異にする非対称の平面形状とし、

前記合流導波路が、合流する 2 本の導波路を平面視において対称の平面形状とし、

前記屈折率変化手段が、前記合流導波路の合流する 2 本の導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 6】

前記請求項 4 に記載のモード間光スイッチにおいて、
前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路が、直線状導波路であり、
前記 Y 分岐導波路が、分岐する 2 本の導波路を平面視において対称の平面形状とし、
前記合流導波路が、合流する 2 本の導波路を平面視において対称の平面形状とし、
前記屈折率変化手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路のうち、少なくとも一方に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 7】

前記請求項 1 に記載のモード間光スイッチにおいて、
前記モード変換手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路を備え、

前記光分岐導波路が、前記入力ポート及び 2 本の導波路間に配設される 1 × 2 型多モード光干渉導波路であり、

前記光合流導波路が、前記出力ポート及び 2 本の導波路間に配設される 2 × 1 型多モード光干渉導波路であり、

前記屈折率変化手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路の

うち、少なくとも一方に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 8】

前記請求項 1 に記載のモード間光スイッチにおいて、

前記モード変換手段が、前記入力ポート及び出力ポート間に並設される 2 本の導波路を備え、

前記光分岐導波路が、前記入力ポート及び 2 本の導波路間に配設される 1×2 型多モード光干渉導波路であり、

前記光合流導波路が、前記出力ポート及び 2 本の導波路間に配設される合流導波路であり、

前記屈折率変化手段が、前記 2 本の導波路のうち少なくとも一方、又は、前記合流導波路の合流する導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 9】

単一の入力ポートと、単一の出力ポートと、当該入力ポート及び出力ポート間に配設され、前記入力ポートから入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力するモード変換手段と、を備えるモード間光スイッチにおいて、

0 次モード光乃至 $2^n - 1$ 次モード光 (n は 2 以上の整数) である 2^n 種類のモード光を対象とし、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートに接続され、モード光を 2 つに分岐する Y 分岐導波路が一又は複数配設される入力段領域と、

前記出力ポートに接続され、2 つのモード光を結合する合流導波路が一又は複数配設される出力段領域と、

前記入力段領域及び出力段領域間に配設され、0 次モード光を伝搬させる 2^n 本の導波路が並設される基準領域と、

前記基準領域の前段に配設され、前記基準領域における最外側の 2 本の導波路にそれぞれ接続される 2 本の導波路と、前記基準領域における最外側の 2 本の導波路を除く隣り合う 2 本の導波路に分岐する $2^{n-1} - 1$ 本の Y 分岐導波路に接続される $2^{n-1} - 1$ 本の導波路と、が並設される前段領域と、

前記前段領域の前段に配設され、前記前段領域における $2^{n-1} - 1$ 本の導波路に結合する $2^{n-1} - 1$ 本の合流導波路と当該 $2^{n-1} - 1$ 本の合流導波路の結合前の $2^n - 2$ 本の導波路及び前記前段領域における最外側の 2 本の導波路にそれぞれ接続される 2 本の導波路のうち隣り合う 2^n 本の導波路に分岐する 2^{n-1} 本の Y 分岐導波路とを介して、 2^{n-1} 本の導波路が並設される前々段領域と、

前記基準領域の後段に配設され、前記基準領域における隣り合う 2 本の導波路を結合する 2^{n-1} 本の合流導波路に接続される 2^{n-1} 本の導波路が並設される後段領域と、

前記基準領域における最外側の 1 本の導波路を除く $2^n - 1$ 本の導波路、前記前段領域における最外側の 2 本の導波路を除く $2^{n-1} - 1$ 本の導波路、前記基準領域で除いた最外側の 1 本の導波路を経路としない前記前々段領域における最外側の 1 本の導波路を除く $2^{n-1} - 1$ 本の導波路、及び、前記基準領域で除いた最外側の 1 本の導波路を経路としない前記後段領域における最外側の 1 本の導波路を除く $2^{n-1} - 1$ 本の導波路に配設され、当該導波路の屈折率を変化させる屈折率変化手段と、

を備え、

前記屈折率変化手段により変化させた屈折率に応じて、前記入力ポートに入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力することを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項 10】

前記請求項 9 に記載のモード間光スイッチにおいて、

0 次モード光乃至 3 次モード光である 4 種類のモード光を対象とし、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートから入力されるモード光を 2 つに分岐する第 1 Y 分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第2 Y分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第3 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光及び前記第3 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第1合流導波路と、

前記第1合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第4 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第4 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第2合流導波路と、

前記第3 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第4 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を結合する第3合流導波路と、

前記第2合流導波路から入力されるモード光及び前記第3合流導波路から入力されるモード光を結合して前記出力ポートから出力する第4合流導波路と、

を備え、

前記屈折率変化手段が、前記第1 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、前記第1合流導波路及び第4 Y分岐導波路間の導波路、前記第4 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第3 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、並びに、前記第3合流導波路及び第4合流導波路間の導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【請求項11】

前記請求項9に記載のモード間光スイッチにおいて、

0次モード光乃至7次モード光である8種類のモード光を対象とし、

前記モード変換手段が、

前記入力ポートから入力されるモード光を2つに分岐する第1 Y分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第2 Y分岐導波路と、

前記第1 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第3 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第4 Y分岐導波路と、

前記第2 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第5 Y分岐導波路と、

前記第3 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第6 Y分岐導波路と、

前記第3 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を2つに分岐する第7 Y分岐導波路と、

前記第4 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光及び前記第5 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第1合流導波路と、

前記第5 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第6 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第2合流導波路と、

前記第6 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第7 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第3合流導波路と、

前記第1合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第8 Y分岐導波路と、

前記第2合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第9 Y分岐導波路と、

前記第3合流導波路から入力されるモード光を2つに分岐する第10 Y分岐導波路と、

前記第4 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第8 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第4合流導波路と、

前記第8 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第9 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第5合流導波路と、

前記第9 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第10 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路を伝播するモード光を結合する第6合流導波路と、

前記第7 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光及び前記第10 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路を伝播するモード光を結合する第7合流導波路と、

前記第4合流導波路から入力されるモード光及び前記第5合流導波路から入力されるモード光を結合する第8合流導波路と、

前記第6合流導波路から入力されるモード光及び前記第7合流導波路から入力されるモード光を結合する第9合流導波路と、

前記第8合流導波路から入力されるモード光及び前記第9合流導波路から入力されるモード光を結合して前記出力ポートから出力する第10合流導波路と、

を備え、

前記屈折率変化手段が、前記第2 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、前記第3 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第1合流導波路及び第8 Y分岐導波路間の導波路、前記第2合流導波路及び第9 Y分岐導波路間の導波路、前記第3合流導波路及び第10 Y分岐導波路間の導波路、前記第8 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第9 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第10 Y分岐導波路の分岐後の一の導波路及び他の導波路、前記第7 Y分岐導波路の分岐後の他の導波路、前記第5合流導波路及び第8合流導波路間の導波路、前記第6合流導波路及び第9合流導波路間の導波路、並びに、前記第7合流導波路及び第9合流導波路間の導波路に配設されることを特徴とするモード間光スイッチ。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0002】

つとして、モード多重伝送技術が注目されている。

光スイッチは、このモード多重伝送技術を利用すれば、光スイッチの前後に接続するモード変換デバイスにより空間位置情報をモード情報に変換した上で、モードを切り換えるスイッチとして機能し、1本の入力導波路及び1本の出力導波路で済むことになり、光スイッチの小型化を図ることができる。

【0006】

このように、任意のモード光を任意のモード光に変換する光スイッチ（モード間光スイッチ）は、モード多重伝送への応用が期待できると共に、モード情報と空間位置情報とを対応させることで、光スイッチ（入力導波路、出力導波路）の端部に結合すべき光学部品点数の削減等、将来の高集積空間光スイッチへの応用も期待される。

しかしながら、モード間光スイッチは、開発段階であり、製品として存在しないのが現状である。

【0007】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、光スイッチの小型化を図ることができるモード間光スイッチを提供するものである。

課題を解決するための手段

【0008】

本発明に係るモード間光スイッチにおいては、基板上に配設される単一の入力ポートと、前記基板上に配設される単一の出力ポートと、当該入力ポート及び出力ポート間における前記基板上に配設され、前記入力ポートから入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力するモード変換手段と、を備えるモード間光スイッチにおいて、前記モード変換手段が、前記入力ポートから入力されたモード光を分岐する光分岐導波路と、前記光分岐導波路に接続され、前記基板に対して略水平に並設される複数の導波路と、前記光分岐導波路の後段に配設され、導波路のコアの屈折率を変化させる屈折率変化手段と、前記屈折率変化手段の後段に配設され、前記光分岐導波路で分岐されたモード光を結合して前記出力ポートから出力する光合波導波路と、を備え、前記屈折率変化

手段により変化させた屈折率に応じて、前記入力ポートに入力された任意のモード光を前記出力ポートから任意のモード光として出力するものである。

発明の効果

[0 0 0 9]

本発明に係るモード間光スイッチにおいては、光スイッチの小型化を図ると共に、任意のモード光を任意のモード光に変換することができる。

図面の簡単な説明

[0 0 1 0]

[図 1] (a) は第 1 の実施形態に係るモード間光スイッチの概略構成の一例を示す平面図であり、(b) は図 1 (a) に示す第 1 の分岐導波路の寸法を説明するための説明図であり、(c) は図 1 (a) に示す第 1 の合流導波路の

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2013/072848
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02F1/025(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02B6/14(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02F1/00-1/125, G02B6/12, G02B6/14 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JST7580(JDreamIII), Science Direct, IEEE Xplore		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 50-20744 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 05 March 1975 (05.03.1975), claims 1 to 3; page 2, upper left column, 3rd line from the bottom to upper right column, line 2; page 3, lower right column, 4th line from the bottom to page 5, lower right column, 1st line from the bottom; fig. 6 to 12 (Family: none)	1-3 4-7 8-10
Y A	JP 63-223711 A (Masayuki IZUTSU et al.), 19 September 1988 (19.09.1988), page 2, lower left column, line 3 to lower right column, line 10; page 3, upper right column, 8th line from the bottom to lower right column, line 7; fig. 1, 2, 4 (Family: none)	4-7 8-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See parent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 September, 2013 (18.09.13)		Date of mailing of the international search report 01 October, 2013 (01.10.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/072848

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	N. Riesen, et al., "Design of mode-sorting asymmetric Y-junctions", Applied Optics, 2012. 05.20, Vol.51, No.15, p.2778-2783	4-7 8-10
Y A	JP 2000-221345 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 11 August 2000 (11.08.2000), paragraph [0015]; fig. 1 (Family: none)	6,7 8-10
A	J.V.Campenhout, et al., "Low-power, 2x2 silicon electro-optic switch with 110-nm bandwidth for broadband reconfigurable optical networks", Optics Express, 2009.12.21, Vol.17, No.26, p.24020-24029	1-10

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 3 / 0 7 2 8 4 8									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02F1/025(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02B6/14(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02F1/00-1/125, G02B6/12, G02B6/14											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2013年										
日本国実用新案登録公報	1996-2013年										
日本国登録実用新案公報	1994-2013年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JST7580(JDreamIII), Science Direct, IEEE Xplore											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号									
X Y A	JP 50-20744 A (工業技術院長) 1975.03.05, 特許請求の範囲 1.-3., 第2頁左上欄下から第3行-右上欄第2行, 第3頁右下欄下から第4行-第5頁右下欄下から第1行, 第6-12図 (ファミリーなし)	1-3 4-7 8-10									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 18.09.2013		国際調査報告の発送日 01.10.2013									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 林 祥恵 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2X 4085								

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2013/072848

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 63-223711 A (井筒雅之, 他) 1988.09.19, 第2頁左下欄第3行-右下欄第10行,	4-7
A	第3頁右上欄下から第8行-右下欄第7行, 第1, 2, 4 図 (ファミリーなし)	8-10
Y	N. Riesen, et al., "Design of mode-sorting asymmetric Y-junctions", Applied Optics, 2012.05.20, Vol.51, No.15,	4-7
A	p.2778-2783	8-10
Y	JP 2000-221345 A (日本電信電話株式会社) 2000.08.11, 段落【0015】, 図1 (ファミリーなし)	6, 7
A		8-10
A	J. V. Campenhout, et al., "Low-power, 2x2 silicon electro-optic switch with 110-nm bandwidth for broadband reconfigurable optical networks", Optics Express, 2009.12.21, Vol.17, No.26, p.24020-24029	1-10

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ

(出願人による申告)平成24年度、独立行政法人情報通信研究機構、「高性能光電子融合型パケットルータ基盤技術の研究開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。