

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6485645号  
(P6485645)

(45) 発行日 平成31年3月20日 (2019.3.20)

(24) 登録日 平成31年3月1日 (2019.3.1)

(51) Int. Cl.

F I

GO 2 B 6/126 (2006.01)  
 GO 2 B 6/125 (2006.01)  
 GO 2 B 6/122 (2006.01)  
 GO 2 B 6/12 (2006.01)

GO 2 B 6/126  
 GO 2 B 6/125 3 O 1  
 GO 2 B 6/122 3 1 1  
 GO 2 B 6/12 3 7 1

請求項の数 12 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2016-15471 (P2016-15471)  
 (22) 出願日 平成28年1月29日 (2016.1.29)  
 (65) 公開番号 特開2016-180978 (P2016-180978A)  
 (43) 公開日 平成28年10月13日 (2016.10.13)  
 審査請求日 平成29年10月6日 (2017.10.6)  
 (31) 優先権主張番号 14/665,372  
 (32) 優先日 平成27年3月23日 (2015.3.23)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
 (74) 代理人 100110423  
 弁理士 曾我 道治  
 (74) 代理人 100111648  
 弁理士 梶並 順  
 (74) 代理人 100122437  
 弁理士 大宅 一宏  
 (74) 代理人 100147566  
 弁理士 上田 俊一  
 (74) 代理人 100161171  
 弁理士 吉田 潤一郎  
 (74) 代理人 100161115  
 弁理士 飯野 智史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光マニピュレータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板層と、  
 前記基板層上に配置され、光信号を伝搬させるためのコア層と、  
 前記コア層上に配置され、前記光信号を操作するためのクラッド層と、  
 を備え、  
 前記クラッド層は、  
 横電気 (T E) モード及び横磁気 (T M) モードを含む、複数の偏光モードを有する光信号  
 を伝搬させるための第 1 の部分と、  
 前記光信号の前記 T E モード及び前記 T M モードを別々に伝搬させるための第 2 の部分  
 と、

多モード干渉 (M M I) 部分と、  
 を備え、

前記 M M I 部分は溝を含み、前記溝は前記 M M I 部分の第 2 の屈折率より小さい第 1 の  
 屈折率を有し、前記 M M I 部分の全長に沿って延在し、前記 M M I 部分を第 1 のチャネル  
 及び第 2 のチャネルを含む 2 つの接続されたチャネルに分割し、前記第 1 の部分は前記第  
 1 のチャネルに接続され、前記第 2 の部分は前記第 1 のチャネル及び前記第 2 のチャネル  
 の両方に接続され、

前記第 1 の部分は前記第 1 のチャネルに接続される第 1 の導波路を含み、前記第 2 の部  
 分は前記第 1 のチャネルに接続される第 2 の導波路と、前記第 2 のチャネルに接続される

10

20

第 3 の導波路とを含み、前記第 1 のチャンネル、前記第 2 のチャンネル、前記第 1 の導波路、前記第 2 の導波路及び前記第 3 の導波路の屈折率は等しく、

前記第 1 の導波路、前記第 2 の導波路及び前記第 3 の導波路のうちの 1 つ又は組み合わせは、テーパ付き結合境界面を通して前記 M M I 部分に接続され、

前記溝は、少なくとも前記コア層に達するかまたは前記コア層内に続くそれ以上の深さを有する、

光マニピュレータ。

【請求項 2】

前記溝の寸法及び前記溝内の屈折率は、前記光信号の前記 T E モード及び前記 T M モードが前記第 2 の部分と前記 M M I 部分との間の境界面において前記第 1 のチャンネル及び前記第 2 のチャンネルに分離され、前記第 1 の部分と前記 M M I 部分の前記第 1 のチャンネルとの間の境界面において混合されるように選択される、請求項 1 に記載の光マニピュレータ。

10

【請求項 3】

前記基板層及び前記クラッド層はリン化インジウム (I n P) を含み、前記コア層はリン化インジウムガリウムヒ素 (I n G a A s P) を含む、請求項 1 に記載の光マニピュレータ。

【請求項 4】

前記溝は前記クラッド層に第 1 の屈折率を有する材料が埋め込まれてなる、請求項 1 に記載の光マニピュレータ。

20

【請求項 5】

前記 M M I 部分の長さは 1 m m 未満である、請求項 1 に記載の光マニピュレータ。

【請求項 6】

リン化インジウム (I n P) を含む基板層と、

前記基板層上に配置され、光信号を伝搬させるための、リン化インジウムガリウムヒ素 (I n G a A s P) を含むコア層と、

前記コア層上に配置され、前記光信号を操作するための、前記 I n P を含むクラッド層と、

を備え、前記クラッド層は更に、

横電気 (T E) モード及び横磁気 (T M) モードを含む、複数の偏光モードを有する前記光信号を伝搬させるための第 1 の部分と、

30

前記光信号の前記 T E モード及び前記 T M モードを別々に伝搬させるための第 2 の部分と、

多モード干渉 (M M I) 部分と、

を備え、

前記 M M I 部分は溝を含み、前記溝は前記 M M I 部分の第 2 の屈折率より小さい第 1 の屈折率を有し、前記 M M I 部分の全長に沿って延在し、前記 M M I 部分を第 1 のチャンネル及び第 2 のチャンネルを含む 2 つの接続されたチャンネルに分割し、前記第 1 の部分は前記第 1 のチャンネルに接続され、前記第 2 の部分は前記第 1 のチャンネル及び前記第 2 のチャンネルの両方に接続され、

40

前記 M M I 部分の長さが 1 m m 未満であり、

前記溝の寸法及び前記溝内の屈折率は、前記光信号の前記 T E モード及び前記 T M モードが前記第 2 の部分と前記 M M I 部分との間の境界面において前記第 1 のチャンネル及び前記第 2 のチャンネルに分離され、前記第 1 の部分と前記 M M I 部分の前記第 1 のチャンネルとの間の境界面において混合されるように選択され、

前記溝は、少なくとも前記コア層に達するかまたは前記コア層内に続くそれ以上の深さを有する、

光マニピュレータ。

【請求項 7】

前記第 1 の部分は前記第 1 のチャンネルに接続される第 1 の導波路を含み、前記第 2 の部

50

分は前記第 1 のチャンネルに接続される第 2 の導波路と、前記第 2 のチャンネルに接続される第 3 の導波路とを含み、前記第 1 のチャンネル、前記第 2 のチャンネル、前記第 1 の導波路、前記第 2 の導波路及び前記第 3 の導波路の屈折率は前記第 2 の屈折率に等しい、請求項 6 に記載の光マニピュレータ。

【請求項 8】

前記第 1 の導波路、前記第 2 の導波路及び前記第 3 の導波路のうちの 1 つ又は組み合わせは、テーパ付き結合境界面を通して前記 M M I 部分に接続される、請求項 7 に記載の光マニピュレータ。

【請求項 9】

リン化インジウム (I n P) を含む基板層と、  
前記基板層上に配置される、リン化インジウムガリウムヒ素 (I n G a A s P) を含むコア層と、

前記コア層上に配置される、前記 I n P を含むクラッド層と、

を備え、

前記クラッド層は、

横電気 (T E) モード及び横磁気 (T M) モードを含む、複数の偏光モードを有する光信号を伝搬させるための第 1 の部分と、

前記光信号の前記 T E モード及び前記 T M モードを別々に伝搬させるための第 2 の部分と、

多モード干渉 (M M I) 部分と、

を含み、

前記 M M I 部分は溝を含み、前記溝は前記 M M I 部分の第 2 の屈折率より小さい第 1 の屈折率を有し、前記 M M I 部分の全長に沿って延在し、前記 M M I 部分を第 1 のチャンネル及び第 2 のチャンネルを含む 2 つの接続されたチャンネルに分割し、前記第 1 の部分は前記第 1 のチャンネルに接続され、前記第 2 の部分は前記第 1 のチャンネル及び前記第 2 のチャンネルに接続され、

前記溝は、少なくとも前記コア層に達するかまたは前記コア層内に続くそれ以上の深さを有する、

光マニピュレータ。

【請求項 10】

前記溝は、前記第 1 の屈折率を有する材料が前記クラッド層に埋め込まれてなる、請求項 9 に記載の光マニピュレータ。

【請求項 11】

前記光マニピュレータの長さは 1 m m 未満である、請求項 9 に記載の光マニピュレータ。

【請求項 12】

基板層と、

前記基板層上に配置され、光信号を伝搬させるためのコア層と、

前記コア層上に配置され、前記光信号を操作するためのクラッド層と、

を備え、前記クラッド層は更に、

横電気 (T E) モード及び横磁気 (T M) モードを含む、複数の偏光モードを有する前記光信号を伝搬させるための第 1 の部分と、

前記光信号の前記 T E モード及び前記 T M モードを別々に伝搬させるための第 2 の部分と、

多モード干渉 (M M I) 部分と、

を備え、

前記 M M I 部分は溝を含み、前記溝は前記 M M I 部分の第 2 の屈折率より小さい第 1 の屈折率を有し、前記 M M I 部分の全長に沿って延在し、前記 M M I 部分を第 1 のチャンネル及び第 2 のチャンネルを含む 2 つの接続されたチャンネルに分割し、前記第 1 の部分は前記第 1 のチャンネルに接続され、前記第 2 の部分は前記第 1 のチャンネル及び前記第 2 のチャンネル

10

20

30

40

50

の両方に接続され、

前記溝は、少なくとも前記コア層に達するかまたは前記コア層内に続くそれ以上の深さを有する、

光マニピュレータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は包括的には光デバイスに関し、より詳細には、直交する偏光成分を有する光信号を分解し、合成する多モード干渉(MMI: multi-mode interference)デバイスに関する。

10

【背景技術】

【0002】

光通信ネットワークにとって、フォトニック集積回路(PIC: photonic integrated circuit)において光信号の偏光モード及び空間モードを制御することは重要である。例えば、従来の単一モード光ファイバーは偏光モードを保存しない。光信号が単一モード光ファイバーからPICに結合されるとき、その信号は、任意の組成の2つの直交する偏光成分、すなわち、横電気(TE: transverse electric)モードの第1の成分と、横磁気(TM: transverse magnetic)モードの第2の成分に分解する。PICにおいて用いられる数多くのモジュールにおいて、TEモード及びTMモードの成分は異なる特性を有する。例えば、異なるTEモード及びTMモードを有する成分は、高屈折率差導波路内で異なる速度で伝搬し、TEモード及びTMモードについてのマイクロリング共振器のエネルギー結合係数は異なる。

20

【0003】

これらの偏光依存効果は、高速通信の場合に特にPICの性能を低下させる。また、大部分の光通信ネットワークは1つの偏光モードしか使用しない。さらに、両方の偏光モードの成分が偏光分割多重化(PDM: polarization-division multiplexing)システムにおいて用いられる場合には、そのような様々なシステムのスペクトル効率を高めることができる。

【0004】

通常、光信号の偏光を制御するためのシステム、例えば、偏光トランスペアレントシステム(polarization transparent system)及び偏光多重化システムは、偏光コンバータ及び/又は偏光スプリッタ/偏光コンバイナのような偏光マニピュレータを用いる。例えば、現在のフォトニック集積回路(PIC)における偏光依存性及び偏光モード分散に関する問題を解決するために、偏光トランスペアレントシステムにおいて、例えば、偏光スプリッタを利用することができる。また、偏光スプリッタは、スペクトル効率を高めるために、偏光分割多重化(PDM)システムにおいて利用することもできる。

30

【0005】

PIC内の偏光スプリッタ/偏光コンバイナは通常、非常に大きなサイズ(長さ>1mm)を有し、これらのデバイスのための特に設計されたプロセスを必要とし、そのため、偏光スプリッタ/偏光コンバイナは非常に複雑になり、製造するのに費用がかかる。

40

【0006】

例えば、深くエッチングされた多モード干渉(MMI)導波路に基づく偏光スプリッタが、非特許文献1によって記述されている。この場合、深くエッチングされた側壁を備える長い(>2mm)MMIが小さな複屈折(すなわち、TEモードとTMモードとの間の異なる実効屈折率)を示す。それゆえ、入力ビームの偏光に応じて、入力ビームの像が異なる出力導波路上に現れる。

【0007】

別の例では、2つのMMI(一方が1×2スプリッタ用で、他方が2×2カブラー用)及びそれらのMMIを接続する2つの導波路に基づく偏光スプリッタが、Doerr(特許文献1)によって開示される。TEモード及びTMモードが異なる実効屈折率を有するよ

50

うにこれらの導波路のために異なる幅を選択することによって、入力偏光に応じて、入力信号が異なる出力導波路に導波される。この出願において実際のデバイス長は明記されないが、全長は1 mmを超えるものと考えられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許出願公開第2010/0046886号明細書

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】Rahman他、「Design of optical polarization splitters in a single -section deeply etched MMI waveguide」、Applied Physics B、 vol. 73, p. 613-619、2001 10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって、偏光スプリッタ又は偏光コンバイナの長さを短縮することが必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

この発明の種々の実施の形態は、異なる偏光の光信号が、光マニピュレータの多モード干渉(MMI)部分の中央部分を通して異なるように結合されるという理解に基づく。 20

【0012】

したがって、この発明の幾つかの実施の形態は、MMIを用いるデバイス等の光デバイスを、MMIデバイス内の屈折率分布を不均一にして用いることによって光信号を操作する。具体的には、MMIは、MMI部分の長さに沿って延在する溝領域を有し、それにより、そのMMIは2つの結合された導波路としての役割を果たす。2つの導波路間の結合は入力モードに依存し、入力モードはTEモード又はTMモードである。

【0013】

溝領域は、導波路部分に比べて低い屈折率を有することができる。一実施の形態は、エッチングされた溝を使用するが、一方、別の実施の形態は、導波路間に埋め込まれた低い屈折率の材料を有する溝を使用する。 30

【0014】

さらに、この発明の幾つかの実施の形態は、入力導波路及び出力導波路がMMIに直接取り付けられるという理解に基づく。別の実施の形態は、テーパ付き導波路を用いて、入力導波路及び出力導波路を取り付ける。

【0015】

したがって、この発明の一実施の形態は、光マニピュレータであって、横電気(TE)モード及び横磁気(TM)モードを含む、複数の偏光モードを有する光信号を伝搬させるための第1の部分と、前記光信号の前記TEモード及び前記TMモードを別々に伝搬させるための第2の部分と、多モード干渉(MMI)部分とを備え、前記MMI部分は溝を含み、該溝は前記MMI部分の第2の屈折率より小さい第1の屈折率を有し、前記MMI部分の全長に沿って延在し、前記MMI部分を第1のチャネル及び第2のチャネルを含む2つの接続されたチャネルに分割し、前記第1の部分は前記第1のチャネルに接続され、前記第2の部分は前記第1のチャネル及び前記第2のチャネルの両方に接続される、光マニピュレータを開示する。 40

【0016】

別の実施の形態は、光マニピュレータであって、横電気(TE)モード及び横磁気(TM)モードを含む、複数の偏光モードを有する光信号を伝搬させるための第1の部分と、

前記光信号の前記TEモード及び前記TMモードを別々に伝搬させるための第2の部分と、多モード干渉(MMI)部分とを備え、前記MMI部分は溝を含み、該溝は前記MMI 50

部分の第2の屈折率より小さい第1の屈折率を有し、前記MMI部分の全長に沿って延在し、前記MMI部分を第1のチャネル及び第2のチャネルを含む2つの接続されたチャネルに分割し、前記第1の部分は前記第1のチャネルに接続され、前記第2の部分は前記第1のチャネル及び前記第2のチャネルの両方に接続され、前記MMI部分の長さが1mm未満であり、前記溝の寸法及び前記溝内の屈折率は、前記光信号の前記TEモード及び前記TMモードが、前記第2の部分と前記MMI部分との間の境界面において前記第1のチャネル及び前記第2のチャネルに分離され、前記第1の部分と前記MMI部分の前記第1のチャネルとの間の境界面において混合されるように選択される、光マニピュレータを開示する。

【0017】

10

更に別の実施の形態は、光マニピュレータであって、リン化インジウム(InP)を含む基板層と、前記基板層上に配置される、リン化インジウムガリウムヒ素(InGaAsP)を含むコア層と、前記コア層上に配置される、前記InPを含むクラッド層とを備える光マニピュレータを開示する。前記クラッド層は、横電気(TE)モード及び横磁気(TM)モードを含む、複数の偏光モードを有する光信号を伝搬させるための第1の部分と、前記光信号の前記TEモード及び前記TMモードを別々に伝搬させるための第2の部分と、多モード干渉(MMI)部分とを備え、前記MMI部分は溝を含み、該溝は前記MMI部分の第2の屈折率より小さい第1の屈折率を有し、前記MMI部分の全長に沿って延在し、前記MMI部分を第1のチャネル及び第2のチャネルを含む2つの接続されたチャネルに分割し、前記第1の部分は前記第1のチャネルに接続され、前記第2の部分は前記第1のチャネル及び前記第2のチャネルに接続される。

20

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】この発明の一実施の形態による例示的な光マニピュレータの等角図である。

【図2】図1の光マニピュレータの上面図である。

【図3】この発明の一実施の形態による、MMIの中央における光マニピュレータの断面図である。

【図4】この発明の別の実施の形態による、MMIの中央における光マニピュレータの断面図である。

【図5】この発明の一実施の形態による光マニピュレータの上面図である。

30

【図6】この発明の幾つかの実施の形態による、光信号のモードプロファイルの伝搬をシミュレートした画像である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

図1は、この発明の一実施の形態による、光信号を操作するための例示的な光マニピュレータ100の等角図を示す。

【0020】

以下に示されるように、光マニピュレータは、基板層と、コア層と、クラッド層とを有するエピタキシャル成長構造として実現することができる。例えば、一実施の形態では、MMIデバイスはインジウムリン(InP)/インジウムガリウムヒ素リン(InGaAsP)構造であり、その構造は、InP基板と、例えば、InPに60%格子整合したAs組成を有するInGaAsPコア層と、InPクラッド層とを含む。別の実施の形態では、MMIデバイスは、二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)に囲まれるシリコン(Si)導波路を含むことができる。他の変形形態も可能であり、この発明の実施の形態の範囲内にある。

40

【0021】

例えば、光マニピュレータ100は、基板層、例えば、InP層101と、基板層上に成長し、光信号を伝搬するコア層、例えば、InGaAsP層102と、コア層上に成長し、光信号を導波するクラッド層、例えば、InP層103とを含む。

【0022】

光マニピュレータ100は、横電気(TE)モード及び横磁気(TM)モードを含む、複数

50

の偏光モードを有する光信号を伝搬させるための第1の部分120を含む。光マニピュレータ100は、光信号のTEモード及びTMモードを別々に伝搬させるための第2の部分を含む。例えば、一実施の形態では、第1の部分は光信号を入力するための入力導波路としての役割を果たすことができる第1の導波路120を含み、第2の部分は、2つの信号を出力するための2つの出力導波路としての役割を果たすことができる第2の導波路130及び第3の導波路135を含む。この実施の形態では、光マニピュレータ100は、光信号を第1の偏光及び第2の偏光に分割し、それにより、光マニピュレータは光スプリッタとしての役割を果たす。

#### 【0023】

それに加えて、又はその代わりに、導波路130及び135を含む第2の部分が別々のモードを有する光信号を入力し、第1の部分120が合成されたモードを有する光信号を出力するように、光信号の伝搬を逆にすることができる。この実施の形態では、光マニピュレータ100は、光コンバイナとしての役割を果たす。

#### 【0024】

また、光マニピュレータ100は、多モード干渉(MMI)部分110も含む。MMI部分は溝140を含み、溝はMMI部分の第2の屈折率とは異なる第1の屈折率を有し、MMI部分の全長に沿って延在し、MMI部分を、第1のチャンネル111及び第2のチャンネル112を含む、2つの接続されたチャンネルに分割する。

#### 【0025】

種々の実施の形態において、溝の寸法及び溝内の屈折率は、光信号のTEモード及びTMモードが第2の部分とMMI部分との間の境界面において第1のチャンネル及び第2のチャンネルに分離され、第1の部分とMMI部分の第1のチャンネルとの間の境界面において混合するように選択される。溝領域140は、MMI110の残りの部分及び/又は導波路120、130及び135とは異なる屈折率、通常は低い屈折率を有することができる。

#### 【0026】

図2は、光マニピュレータ100の上面図を示す。溝領域140はMMI部分の全長Lに沿ってMMIデバイス110の入力側から出力側まで延在する。入力導波路120は、MMIデバイス110の一方の側、例えば、第1のチャンネル111に接続され、一方、出力導波路130及び135は、MMIデバイスのそれぞれの側に接続され、例えば、導波路130は第1のチャンネル111に接続され、導波路135は第2のチャンネル112に接続される。

#### 【0027】

図3は、低実効屈折率領域140を含むMMIデバイス110の断面を示す。この例では、コア層102は、InP基板101と、InPクラッド層103との間の $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 < y < 1$ )である。光信号はクラッド層の屈折率よりも高い屈折率を有するコア層内に集中する。クラッド層の低い屈折率は、MMIデバイスの深さに沿った光信号伝搬を支援する役割を果たす。

#### 【0028】

この実施の形態では、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ は4元材料である。ただし、 $x$  ( $0 \sim 1$ )はGaの割合であり、 $y$  ( $0 \sim 1$ )はAsの割合である。例えば、 $x = 0$ 及び $y = 0$ である場合には、その4元材料はInPである。同様に、 $x = 1$ 及び $y = 1$ である場合には、その4元材料はGaAsである。

#### 【0029】

InP上にInGaAsPを成長させるために、格子整合条件が、 $x = -0.42y$ のような、 $x$ と $y$ との間の関係を定義する。1つの成分の値、例えば、 $y = 0.4$ を指定することによって、その材料の完全な組成を決定することができる。

#### 【0030】

MMIデバイス110は溝領域140を含む。一実施の形態では、MMIは、上側クラッド層103の中へのエッチングを、又はコア層102の中への更なるエッチングを有する。

10

20

30

40

50

## 【0031】

図4は、溝領域142が、InPのような別の材料で満たされる別の実施の形態を示しており、その材料の屈折率はコア層102より小さい。

## 【0032】

図5は、入力導波路及び出力導波路の1つ又は2つの側においてテーパ付き結合境界面を用いる、この発明の一実施の形態による光マニピュレータの上面図を示す。光マニピュレータの部分間のテーパ結合は、MMI部分と入力/出力導波路との間の光結合損失を低減する。

## 【0033】

この発明の幾つかの実施の形態は、光信号のTEモード及びTMモードが、導波路の全長に沿って延在し、導波路を2つの接続されたチャネルに分割する溝を有する導波路のチャネルを通して異なるように伝搬するという理解に基づく。したがって、そのような延在する溝を用いて、光信号のモードを分割又は合成することができる。

## 【0034】

図6の(a)(b)は、TEモード及びTMモードについての基本モード及び一次モードのモードプロファイルをシミュレートした画像と、TEモード及びTMモードについてのビーム伝搬をシミュレートした画像とを示す。図6の(a)(b)において見ることもできるように、光信号は第2の部分とMMI部分との間の境界面において第1のチャネル及び第2のチャネルに分離され、第1の部分とMMI部分の第1のチャネルとの間の境界面において混合される。

## 【0035】

図6の(a)(b)の例では、光マニピュレータは、単一モード入力導波路620( $W_{wg} = 1.5 \mu m$ )と、円滑にモード移行するための短いテーパ部分622( $L_{groove} = 36 \mu m$ )と、MMI部分610( $W_{MMI} = 2.5 \mu m$ 及び $L_{MMI} = 370 \mu m$ )と、2つの出力ポート630、635( $port_{1,2} = W_{wg}$ )を含む。入力/出力ポート及びMMI部分は深くエッチングされた溝として作製される。MMI部分は、 $0.5 \mu m$ の浅くエッチングされた溝を表す。

## 【0036】

図6の(a)は、MMI部分における基本TEモード及びMEモード並びに一次TEモード及びMEモードを示す。TE及びTMの場合の結合長が異なることに起因して、MMI部分におけるモード干渉によって、TE及びTMの入力モードがそれぞれポート1及びポート2に結合するようになる。図6の(b)は、TE又はTM偏光入力の場合の光マニピュレータに沿ったフィールド伝搬を示す。

## 【0037】

MMI部分におけるTE及びTM結合長は以下のように定義される。

## 【0038】

$$\begin{aligned} L_{TE} &= \lambda / ( \beta_{TE0} - \beta_{TE1} ) \\ L_{TM} &= \lambda / ( \beta_{TM0} - \beta_{TM1} ) \end{aligned}$$

## 【0039】

ただし、 $\beta_{TE0}$ 及び $\beta_{TE1}$ は基本TEモード及び一次TEモードの場合のモード伝搬定数であり、一方、 $\beta_{TM0}$ 及び $\beta_{TM1}$ は基本TMモード及び一次TMモードの場合のモード伝搬定数である。計算されたビート長は、TEモードの場合に $37.52 \mu m$ であり、TMモードの場合に $53.76 \mu m$ である。TEモード及びTMモードをポート1及びポート2にそれぞれ分割するために、デバイスの全長、 $L_{MMI}$ は以下の式によって与えられる。

## 【0040】

$$L_{MMI} = n \times L_{TE} = (n - m) \times L_{TM}$$

## 【0041】

ただし、 $n$ は整数であり、 $m$ は奇数である。上記のこの発明の例では、最適なMMI長は $370 \mu m$ である。ただし、 $n = 10$ 及び $m = 3$ である。したがって、1mm長未満の偏

10

20

30

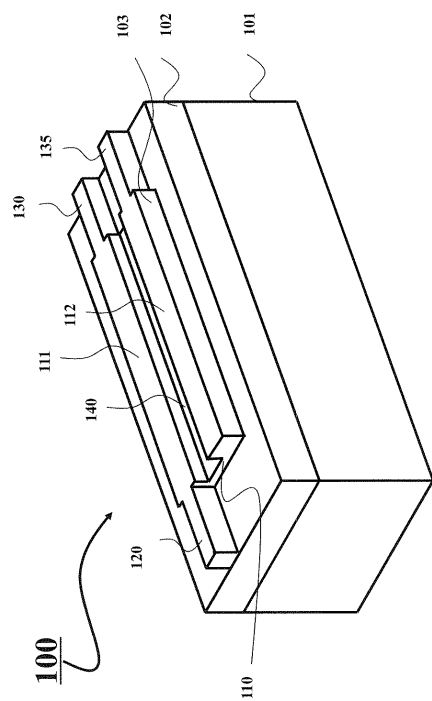
40

50

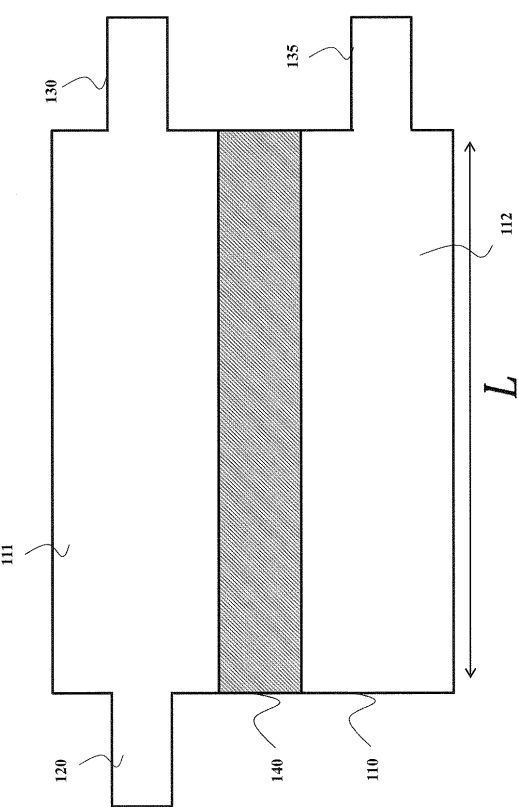


光スプリッタを実現することができる。

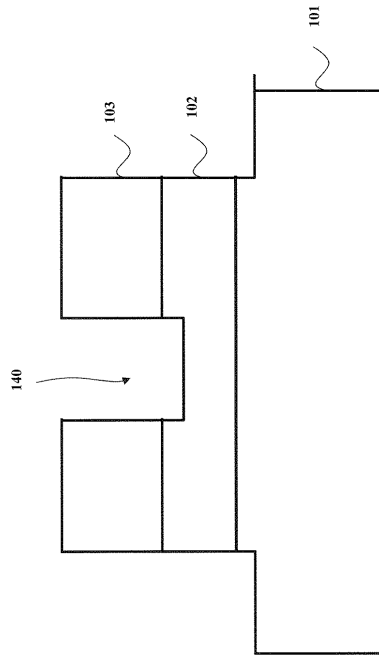
【図 1】



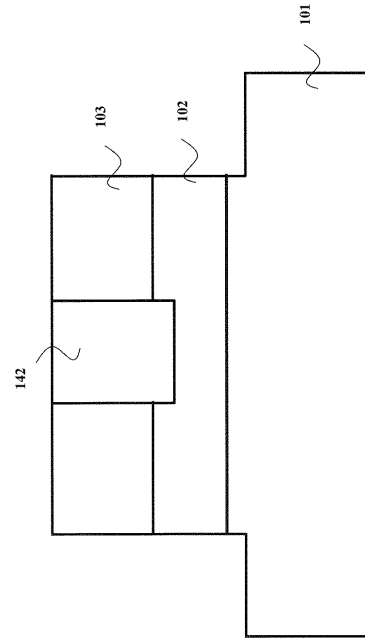
【図 2】



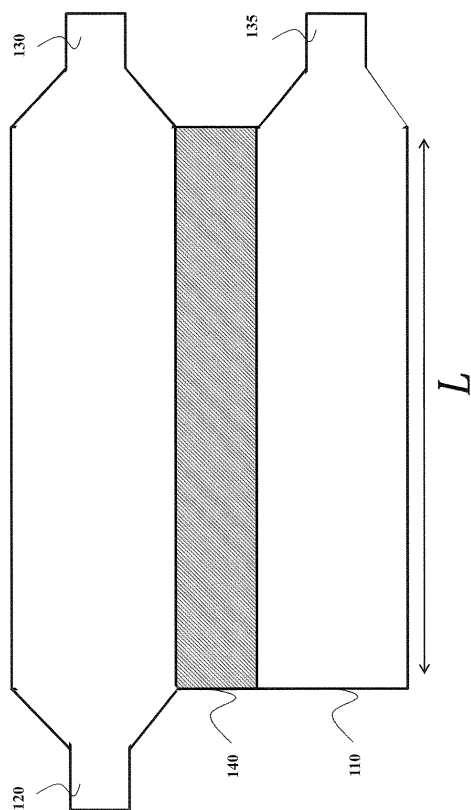
【図 3】



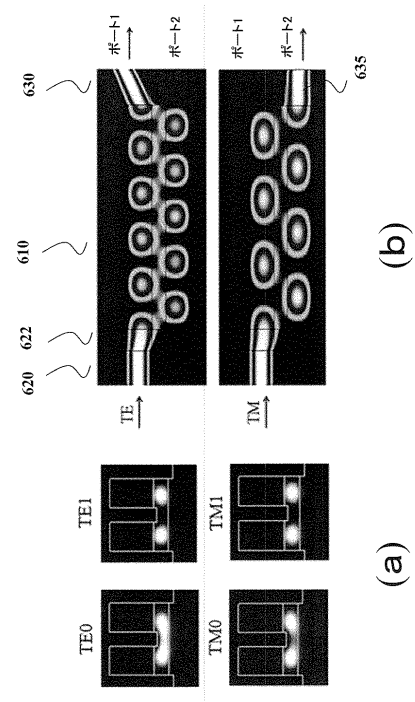
【図 4】



【図 5】



【図 6】



## フロントページの続き

- (72)発明者 小島 啓介  
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ  
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
- (72)発明者 マヌエラ・フェリセッティ  
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ  
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
- (72)発明者 秋濃 俊昭  
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ  
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
- (72)発明者 ピンナン・ワン  
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ  
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
- (72)発明者 西川 智志  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 柳生 栄治  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 奥村 政人

- (56)参考文献 米国特許第07035494(US, B1)  
特開2000-221345(JP, A)  
特開2000-081534(JP, A)  
特開2013-210503(JP, A)  
特開2014-182371(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12 - 6/14