

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5173394号  
(P5173394)

(45) 発行日 平成25年4月3日(2013.4.3)

(24) 登録日 平成25年1月11日(2013.1.11)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 6/122 (2006.01)

F 1

G 0 2 B 6/12

D

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2007-330469 (P2007-330469)  
 (22) 出願日 平成19年12月21日(2007.12.21)  
 (65) 公開番号 特開2009-151196 (P2009-151196A)  
 (43) 公開日 平成21年7月9日(2009.7.9)  
 審査請求日 平成22年6月24日(2010.6.24)

(73) 特許権者 000005821  
 パナソニック株式会社  
 大阪府門真市大字門真1006番地  
 (74) 代理人 110000899  
 特許業務法人 松田国際特許事務所  
 (74) 代理人 100092794  
 弁理士 松田 正道  
 (72) 発明者 浜田 英伸  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
 電器産業株式会社内

審査官 ▲高▼ 芳徳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光デバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

矩形マルチモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の入力縁部の幅方向に各接続部が並ぶように並列して接続された複数のシングルモード導波路と、

出力縁部の幅方向の中心位置に接続される単数の出力側シングルモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の光路の少なくとも片側の側面に、前記矩形マルチモード導波路のコアから所定の間隔をおいて配置された、光源波長の電磁波吸収体と、を備えた光デバイスであって、

前記所定の間隔は、高次モードの内前記電磁波吸収体で吸収し排除させたい  $p + 1$  以上の次数の固有モードの前記コアからの染み出し距離よりも小さく、高次モードの内  $p$  以下の次数の固有モードの前記コアからの染み出し距離よりも大きい、前記矩形マルチモード導波路における 0 次の固有モード並びに高次モードの内  $p$  以下の次数の固有モードによるマルチモード干渉を行う、光デバイス。

【請求項 2】

前記電磁波吸収体は、前記矩形マルチモード導波路の前記側面に接して配置されており、

前記所定の間隔は、前記矩形マルチモード導波路の前記側面側のクラッドの厚さである、請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 3】

10

20

矩形マルチモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の入力縁部の幅方向に各接続部が並ぶように並列して接続された複数のシングルモード導波路と、

出力縁部の幅方向の中心位置に接続される単数の出力側シングルモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の前記入力縁部から出力縁部に向かう方向に周期構造を有し、前記矩形マルチモード導波路の光路の少なくとも片側の側面に、前記矩形マルチモード導波路から分離し除去したい高次の固有モードである  $p$  次モードが移動できる程度に近接させて配置されたフィルター導波路と、を備えた光デバイスであって、

前記フィルター導波路の前記周期構造の周期から算出される回折格子波数が、前記フィルター導波路の伝搬定数と、 $p$  次モードの前記矩形マルチモード導波路における伝搬定数との差の絶対値に等しい、前記矩形マルチモード導波路における 0 次の固有モード並びに高次モードの内  $p - 1$  次以下の次数の固有モードによるマルチモード干渉を行う、光デバイス。

10

#### 【請求項 4】

前記フィルター導波路の前記矩形マルチモード導波路に近接する部分以外の部分と、前記矩形マルチモード導波路の前記側面を含む平面との間隔は、前記近接する部分と前記矩形マルチモード導波路の前記側面との間隔よりも大きい、請求項 3 に記載の光デバイス。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

20

本発明は、光回路や光カプラーに使用される光デバイスに関する。例えば、マルチモード干渉を利用した光回路や光カプラーに使用される光デバイスに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

矩形マルチモード導波路のマルチモード干渉 (MMI) の Self Imaging 現象が、低損失で小型化に適し、加工し易いなどの理由で、矩形マルチモード導波路が光回路や合分波器などの光カプラーとして利用されている。

#### 【0003】

通信需要の増大に伴って、光デバイスに対して高速化、多チャンネル化だけでなく小型集積化への要求が強まっている。

30

【非特許文献 1】C.Vazquez, C. Aramburu, M. Galarza, and M. Lopez-Amo, "Experimental assessment of access guide first-order mode effect on multimode interference couplers," Opt. Eng. 40(7), pp1160-1162, 2001.

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0004】

しかしながら、矩形マルチモード導波路を小型で入出力を多チャンネル化すると、高次モードが増加し、パルス幅広がりが大きくなってしまいうために、効率のよい伝送ができなくなるといった問題が生じる。

#### 【0005】

40

すなわち、矩形マルチモード導波路のモード群遅延分散により、低次モードよりも高次モードになるほど群遅延が大きくなるというモード間の群遅延差が生じるので、高次モードが増加すると、この群遅延差に伴うパルス幅広がりが大きくなる。伝送速度はパルス幅広がりにより制限されるので、高次モードが増加することによって効率のよい伝送ができなくなってしまう。

#### 【0006】

ここで、図 5 を用いて、矩形マルチモード導波路を多チャンネル化した場合に、入力光に 1 次モードが発生するメカニズムについて説明する。なお、このメカニズムについては、非特許文献 1 でも報告されている。

#### 【0007】

50

図 5 は、従来の矩形マルチモード導波路を多チャンネル化した場合に、入力光に 1 次モードが発生するメカニズムを説明するための概要図を示している。

【 0 0 0 8 】

図 5 では、従来の矩形マルチモード導波路 3 1 の入力端面に、多チャンネルに対応するための複数の並列した入力側シングルモード導波路 3 2 が、各接続位置が矩形マルチモード導波路 3 1 の入力端面の幅方向に並ぶように接続されている。そして、各入力側シングルモード導波路 3 2 には、それぞれ外部光源 3 4 が接続されている。また、矩形マルチモード導波路 3 1 の出力端面の幅方向の中心位置に、単数の出力側シングルモード導波路 3 3 が接続されている。

【 0 0 0 9 】

図 5 に示すように、現実的な問題として、チャンネル数の増加や小型化に伴って矩形マルチモード導波路 3 1 に接続される複数の入力側シングルモード導波路 3 2 の間隔が小さくなるので、方向性結合 3 5 によって隣接する入力側シングルモード導波路 3 2 間でモード結合し、1 次モードが発生する。

【 0 0 1 0 】

また、外部光源 3 4 から入力側シングルモード導波路 3 2 へ入射する際に、軸ズレ入射 3 6 した場合にも 1 次モードが発生するが、チャンネル数が増加することにより軸ズレ入射 3 6 により発生する 1 次モードの発生頻度も大きくなる。なお、軸ズレ入射 3 6 により発生した 1 次モードは、入力側シングルモード導波路 3 2 内では伝搬に従って減衰するが、小型化に伴いその光路長が短いので、完全に減衰する前に矩形マルチモード導波路 3 1

【 0 0 1 1 】

このように、多チャンネル化した場合には、方向性結合 3 5 や軸ズレ 3 6 によって、矩形マルチモード導波路 3 1 には 0 次モードだけでなく 1 次モードも入力されることになるので、矩形マルチモード導波路 3 1 内の高次モードが増加してしまう。

【 0 0 1 2 】

図 6 は、矩形マルチモード導波路 3 1 における、1 次モード入力光量割合 ( $R_1$ ) と入力位置 ( $Ch_0$ 、 $\pm Ch_1$ 、 $\pm Ch_2$ 、 $\pm Ch_3$  :  $Ch_0$  が矩形マルチモード導波路 3 1 の入力端面の幅方向の中心位置) を変数とした場合の、MMI のセルフイメージング条件時の出力波形(波形包絡線 : 理論計算結果、波形 : FDTD (Finite - Difference Time - Domain) シミュレーション結果)を示している。なお、図 6 上部に記載の波形は各  $Ch$  の入力波形を示し、FDTD シミュレーション結果が理論計算結果よりも減衰が早いのは、FDTD の計算時間の短縮と計算機への負荷の低減を図る目的で伝搬モードの群遅延の大きい高調波成分の減衰を大きくしたモデルを使用しているためである。

【 0 0 1 3 】

このように、矩形マルチモード導波路 3 1 への 1 次モードの入力は、MMI において横方向のアンバランスに起因する出力変動を引き起こし、更なるパルス広がりをもたらす。

【 0 0 1 4 】

また、多チャンネル化と小型集積化に伴って、矩形マルチモード導波路 3 1 に接続される入力側シングルモード導波路 3 2 のコア径が小さくなると共に、矩形マルチモード導波路 3 1 の入力面上の幅方向の端の方への入力が増えるので、この影響によっても矩形マルチモード導波路 3 1 内の高次モードが増加する。

【 0 0 1 5 】

本発明は、上記従来の課題を考慮して、多チャンネル化および小型化した場合でも、モード群遅延分散によるパルス幅広がりを低減できる光デバイスを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 6 】

上述した課題を解決するために、第 1 の本発明は、

矩形マルチモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の入力縁部の幅方向に各接続部が並ぶように並列して接続された複数のシングルモード導波路と、

出力縁部の幅方向の中心位置に接続される単数の出力側シングルモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の光路の少なくとも片側の側面に、前記矩形マルチモード導波路のコアから所定の間隔をおいて配置された、光源波長の電磁波吸収体と、を備えた光デバイスであって、

前記所定の間隔は、高次モードの内前記電磁波吸収体で吸収し排除させたい  $p + 1$  以上の次数の固有モードの前記コアからの染み出し距離よりも小さく、高次モードの内  $p$  以下の次数の固有モードの前記コアからの染み出し距離よりも大きい、前記矩形マルチモード導波路における  $0$  次の固有モード並びに高次モードの内  $p$  以下の次数の固有モードによるマルチモード干渉を行う、光デバイスである。

10

【 0 0 1 8 】

また、第 2 の本発明は、

前記電磁波吸収体は、前記矩形マルチモード導波路の前記側面に接して配置されており、

前記所定の間隔は、前記矩形マルチモード導波路の前記側面側のクラッドの厚さである、第 1 の本発明の光デバイスである。

【 0 0 1 9 】

また、第 3 の本発明は、

矩形マルチモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の入力縁部の幅方向に各接続部が並ぶように並列して接続された複数のシングルモード導波路と、

出力縁部の幅方向の中心位置に接続される単数の出力側シングルモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の前記入力縁部から出力縁部に向かう方向に周期構造を有し、前記矩形マルチモード導波路の光路の少なくとも片側の側面に、前記矩形マルチモード導波路から分離し除去したい高次の固有モードである  $p$  次モードが移動できる程度に近接させて配置されたフィルター導波路と、を備えた光デバイスであって、

20

前記フィルター導波路の前記周期構造の周期から算出される回折格子波数が、前記フィルター導波路の伝搬定数と、 $p$  次モードの前記矩形マルチモード導波路における伝搬定数との差の絶対値に等しい、前記矩形マルチモード導波路における  $0$  次の固有モード並びに高次モードの内  $p - 1$  次以下の次数の固有モードによるマルチモード干渉を行う、光デバイスである。

30

【 0 0 2 1 】

また、第 4 の本発明は、

前記フィルター導波路の前記矩形マルチモード導波路に近接する部分以外の部分と、前記矩形マルチモード導波路の前記側面を含む平面との間隔は、前記近接する部分と前記矩形マルチモード導波路の前記側面との間隔よりも大きい、第 3 の本発明の光デバイスである。

【 0 0 2 2 】

また、本発明に関連する第 1 の発明は、

矩形マルチモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の入力縁部の幅方向に各接続部が並ぶように並列して接続された複数のシングルモード導波路とを備えた光デバイスであって、

40

前記複数のシングルモード導波路には、隣接するシングルモード導波路間の距離がモード結合する距離以下となる区間を有するように配置されたものが含まれており、前記区間の光路方向の長さは、その隣接する 2 つのシングルモード導波路において励振する  $0$  次固有モードと  $1$  次固有モードとの位相差が  $2\pi$  となる長さの整数倍である光デバイスである。

【 0 0 2 3 】

50

また、本発明に関連する第 2 の発明は、  
矩形マルチモード導波路と、

前記矩形マルチモード導波路の入力縁部の幅方向に各接続部が並ぶように並列して接続された複数のシングルモード導波路とを備えた光デバイスであって、

前記複数のシングルモード導波路の少なくともいずれかには、その一部に所定の高次固有モードを減衰させる区間が設けられている光デバイスである。

【 0 0 2 4 】

また、本発明に関連する第 3 の発明は、

前記所定の高次固有モードは、1 次固有モードである、本発明に関連する第 2 の発明の光デバイスである。

【 0 0 2 5 】

また、本発明に関連する第 4 の発明は、

前記所定の高次固有モードを減衰させる区間は、前記区間の前後の部分よりもコアの断面が小さく、前記区間のコアの断面は、前記所定の高次固有モードの通過を阻止する程度の大きさである、本発明に関連する第 2 の発明の光デバイスである。

【 0 0 2 6 】

また、本発明に関連する第 5 の発明は、

前記所定の高次固有モードを減衰させる区間は、前記区間の前後の部分よりもコアとクラッドとの屈折率差が小さく、前記区間の前記屈折率差は、前記所定の高次固有モードを発生させない程度に小さい、本発明に関連する第 2 の発明の光デバイスである。

【発明の効果】

【 0 0 2 7 】

本発明により、多チャンネル化および小型化した場合でも、モード群遅延分散によるパルス幅広がりを低減できる光デバイスを提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 8 】

以下、本発明および本発明に関連する発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 2 9 】

( 実施の形態 1 )

図 1 ( a ) に、本発明の実施の形態 1 の光デバイスの概要図を示す。図 1 ( b ) は、図 1 ( a ) に示した矩形マルチモード導波路部分の A - A ' 断面図を示している。

【 0 0 3 0 】

図 1 ( a ) に示すように、本実施の形態 1 の光デバイスは、矩形マルチモード導波路 1 の入力端面に、多チャンネルに対応するための複数の並列した入力側シングルモード導波路 2 が、各接続位置が矩形マルチモード導波路 1 の入力端面の幅方向に並ぶように接続されている。そして、各入力側シングルモード導波路 2 には、それぞれ外部光源 4 が接続されている。また、矩形マルチモード導波路 1 の出力端面の幅方向の中心位置に、単数の出力側シングルモード導波路 3 が接続されている。なお、外部光源 4 は、例えば光ファイバーなどの伝送路である。

【 0 0 3 1 】

また、矩形マルチモード導波路 1 の光路に沿った側面に近接して電磁波吸収体 1 1 が設けられている。図 1 ( b ) に示すように、矩形マルチモード導波路 1 は、コア部 1 4 と、コア部 1 4 を取り囲むクラッド部 1 5 で構成されており、電磁波吸収体 1 1 は、矩形マルチモード導波路 1 のコア部 1 4 からの距離 H が、コア部 1 4 からの高次モードの染み出し距離以下となるように配置されている。

【 0 0 3 2 】

なお、電磁波吸収体 1 1 と矩形マルチモード導波路 1 のコア部 1 4 との間の距離 H が、本発明の所定の間隔の一例にあたる。

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

50

マルチモード導波路の固有モードのコアからの染み出し距離は、クラッドの減衰定数 $\gamma_2$ の逆数で表現できる。クラッドの減衰定数 $\gamma_2$ は、数1（導波路の運動量保存則）と数2（境界条件）から求められ、モード次数 $p$ が大きくなるほど $\gamma_2$ が小さく、すなわち、高次モードになるほどコアからの染み出し距離が大きくなる。

【0034】

ただし、数1および数2において、 $k_1$ ：コアの幅方向の波数、 $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ ：コア、クラッドの誘電率、 $\mu_1$ 、 $\mu_2$ ：コア、クラッドの透磁率、 $\omega$ ：周波数、 $d$ ：コア径、とする。

【0035】

【数1】

10

$$k_1^2 + \gamma_2^2 = (\epsilon_1 \mu_1 - \epsilon_2 \mu_2) \omega^2$$

【0036】

【数2】

$$\gamma_2 d = \frac{\mu_2}{\mu_1} k_1 d \tan \left( \frac{k_1 d}{2} - \frac{p\pi}{2} \right)$$

20

数1および数2から計算される $p$ 次モードの染み出し距離以下に電磁波吸収体を配置すれば、 $p$ 次以上の高次モードを吸収できるので群遅延の大きな高次モードの影響を低減でき、パルス幅広がりを低減できる。

30

【0037】

そこで、本実施の形態1の光デバイスは、矩形マルチモード導波路1のコア部14から電磁波吸収体11までの距離 $H$ が、1次モードの染み出し距離以下となるように、電磁波吸収体11を配置している。

【0038】

例えば、0次モードのみを電磁波吸収体11に吸収させたくない場合には、矩形マルチモード導波路1のコア部14から電磁波吸収体11までの距離 $H$ を、0次モードの染み出し距離よりも大きく、1次モードの染み出し距離よりも小さい距離とすることで、1次モード以上の高次モードのみを低減させることができる。

【0039】

40

なお、電磁波の吸収量（高次モードの減衰量）は伝搬距離に依存するので、図1（a）に示すように矩形マルチモード導波路1の導波路長に渡って電磁波吸収体11を配置する方が効果的である。

【0040】

また、図1に示した本実施の形態1の光デバイスでは、矩形マルチモード導波路1と電磁波吸収体11とを接触させずに配置した例で説明したが、矩形マルチモード導波路1と電磁波吸収体11とを接触させるように配置し、矩形マルチモード導波路1のコア部14と電磁波吸収体11との距離 $H$ を、矩形マルチモード導波路1の側面部分のクラッド部15の厚さによって調整するようにしてもよい。このような構成にすることにより、本実施の形態1の光デバイスの作製時の組み付け誤差を低減させることができる。

50

## 【 0 0 4 1 】

また、本実施の形態 1 では、図 1 ( a ) および ( b ) に示したように、矩形マルチモード導波路 1 を、コア部 1 4 の周りにクラッド部 1 5 を設ける構成としたが、矩形マルチモード導波路 1 をコア部 1 4 のみの構成とし、周囲の空気をクラッド部として用いるような構成にしてもよい。

## 【 0 0 4 2 】

また、本実施の形態 1 では、図 1 ( a ) および ( b ) に示したように、矩形マルチモード導波路 1 の両方の側面に電磁波吸収体 1 1 を配置する構成とした。このような構成にした方が、高次モードの低減効果は大きい。矩形マルチモード導波路 1 の片側の側面のみ電磁波吸収体 1 1 を設ける構成にしても、高次モードを低減させることができる。

10

## 【 0 0 4 3 】

このように、矩形マルチモード導波路の側面に沿って配置する電磁波吸収体の、コアの側面からの距離を制御することで、群遅延の大きい高次モード成分を吸収・排除することができるので、モード群速度分散に起因するパルス幅広がりを低減させることができる。

## 【 0 0 4 4 】

( 実施の形態 2 )

図 2 ( a ) に、本発明の実施の形態 2 の光デバイスの概要図を示す。なお、図 1 と同じ構成部分には、同じ符号を用いている。

## 【 0 0 4 5 】

本実施の形態 2 の光デバイスは、図 1 に示した実施の形態 1 の光デバイスと同様に、矩形マルチモード導波路 1 の入力端面に、多チャンネルに対応するための複数の並列した入力側シングルモード導波路 2 が、各接続位置が矩形マルチモード導波路 1 の入力端面の幅方向に並ぶように接続されている。そして、各入力側シングルモード導波路 2 には、それぞれ外部光源 4 が接続されている。また、矩形マルチモード導波路 1 の出力端面の幅方向の中心位置に、単数の出力側シングルモード導波路 3 が接続されている。

20

## 【 0 0 4 6 】

本実施の形態 2 の光デバイスは、図 2 ( a ) に示すように、矩形マルチモード導波路 1 の光路に沿った側面に近接して高調波フィルター導波路 1 2 が設けられている。

## 【 0 0 4 7 】

高調波フィルター導波路 1 2 は、矩形マルチモード導波路 1 の側面に近接する部分において、側面方向に固有モードと矩形マルチモード導波路 1 の高次モード成分の位相差の絶対値の波数を有する長周期回折格子 1 3 構造を有している。そして、高調波フィルター導波路 1 2 の長周期回折格子 1 3 構造が無い部分は、矩形マルチモード導波路 1 の側面を含む平面との距離が、長周期回折格子 1 3 構造が有る部分におけるその平面との距離よりも大きい形状および配置がされている。つまり、高調波フィルター導波路 1 2 は、長周期回折格子 1 3 構造の無い部分が、矩形マルチモード導波路 1 の側面を含む平面から遠ざかるように配置されている。高調波フィルター導波路 1 2 をこのように配置することにより、入力側シングルモード導波路 2 や出力側シングルモード導波路 3 とのモード結合を防止できる。

30

## 【 0 0 4 8 】

図 2 ( b ) に、本実施の形態 2 の光デバイスの矩形マルチモード導波路 1 と高調波フィルター導波路 1 2 の分散特性を示す。矩形マルチモード導波路 1 の 0 次モード 1 6 の分散特性と、吸収 ( 除去 ) させたい吸収高次モード 1 7 の分散特性を実線で示し、高調波フィルター導波路 1 2 の 0 次モード 1 8 の分散特性を破線で示している。

40

## 【 0 0 4 9 】

高調波フィルター導波路 1 2 の伝搬定数を  $\beta_f$ 、矩形マルチモード導波路 1 の第  $p$  次成分の伝搬定数を  $\beta_p$  とすると、数 3 を満足する  $p$  次成分は、高調波フィルター導波路 1 2 の長周期回折格子 1 3 部分 ( 周期 :  $\Lambda$  ) で、矩形マルチモード導波路 1 から高調波フィルター導波路 1 2 に移動し、矩形マルチモード導波路 1 から分離される。つまり、高調波フィルター導波路 1 2 の長周期回折格子 1 3 部分の周期  $\Lambda$  から算出される回折格子波数  $G$  と

50

、高調波フィルター導波路 1 2 の伝搬定数  $\beta_f$  との差の絶対値に等しい伝搬定数  $\beta_p$  を有する第 p 次成分が、矩形マルチモード導波路 1 から分離され除去される。

【 0 0 5 0 】

【 数 3 】

$$|\beta_f - \beta_p| = \frac{2\pi}{\lambda} = G$$

10

なお、本実施の形態 2 では、わかり易く説明するために高調波フィルター導波路 1 2 をシングルモードとしたが、数 3 を満足する  $\beta_f$  が存在すればマルチモードであってもよい。

【 0 0 5 1 】

また、図 2 ( a ) では、わかり易く説明するために、矩形マルチモード導波路 1 の片方の側面にのみ高調波フィルター導波路 1 2 を設けた構成で説明したが、矩形マルチモード導波路 1 の両方の側面に高調波フィルター導波路 1 2 を設ける構成にしてもよく、その場合、さらに大きな効果が得られる。

20

【 0 0 5 2 】

このように、矩形マルチモード導波路の側面に沿って長周期回折格子を近接して配置することで、群遅延の大きい高次モード成分を吸収・排除することができるので、モード群速度分散に起因するパルス幅広がり低減することができる。

【 0 0 5 3 】

( 実施の形態 3 )

図 3 に、本発明に関連する発明の実施の形態 3 の光デバイスの概要図を示す。なお、図 1 と同じ構成部分には、同じ符号を用いている。

【 0 0 5 4 】

本実施の形態 3 の光デバイスは、図 1 に示した実施の形態 1 の光デバイスと同様に、矩形マルチモード導波路 1 の入力端面に、多チャンネルに対応するための複数の並列した入力側シングルモード導波路 2 0 が、各接続位置が矩形マルチモード導波路 1 の入力端面の幅方向に並ぶように接続されている。そして、各入力側シングルモード導波路 2 0 には、それぞれ外部光源 4 が接続されている。また、矩形マルチモード導波路 1 の出力端面の幅方向の中心位置に、単数の出力側シングルモード導波路 3 が接続されている。

30

【 0 0 5 5 】

ここで、本実施の形態 3 の複数の入力側シングルモード導波路 2 0 は、各隣接する 2 本の入力側シングルモード導波路 2 0 がモード結合する程度に近接する方向性結合区間 7 が、それらの隣接する 2 本の入力側シングルモード導波路において励振する 0 次固有モード 5 と 1 次固有モード 6 の位相差が  $2\pi$  となる光路長を有している。また、方向性結合区間 7 では、各入力側シングルモード導波路 2 0 は互いに平行に配置されている。

40

【 0 0 5 6 】

隣接する 2 本の入力側シングルモード導波路 2 0 間でモード結合する場合の、その 2 本の入力側シングルモード導波路 2 0 間の距離は、コアからの染み出し距離によって決まるので、光デバイスの具体的な構成が決まれば算出できる。

【 0 0 5 7 】

なお、方向性結合区間 7 とは、図 5 で説明した方向性結合 3 5 が生じる区間であり、本発明に関連する発明の、隣接するシングルモード導波路間の距離がモード結合する距離以下となる区間の一例にあたる。

50



## 【 0 0 5 8 】

本実施の形態 3 の光デバイスは、入力側シングルモード導波路 2 0 の方向性結合区間 7 の光路長を上記のような長さとしたことにより、隣接する入力側シングルモード導波路 2 0 間のモード結合による影響を低減している。

## 【 0 0 5 9 】

入力側シングルモード導波路 2 0 の方向性結合区間 7 の光路長をこのように設定することにより、隣接する入力側シングルモード導波路 2 0 間のモード結合による影響を低減できるメカニズムについて、以下に説明する。

## 【 0 0 6 0 】

矩形マルチモード導波路 1 の幅 W の入力面に接続される複数の入力側シングルモード導波路 2 0 の、隣接する導波路間の間隔 D は、W とチャンネル数 N に依存するので、小型・集積化に伴って小さくなる W と大きくなる N によって D は小さくなる。その結果、矩形マルチモード導波路 1 の入力面の近傍では、入力側シングルモード導波路 2 0 は、隣接する入力側シングルモード導波路 2 0 との間でモード結合し、その結合する区間が方向性結合区間 7 となる。

## 【 0 0 6 1 】

したがって、モード結合理論によると、0 次モード 5 と 1 次モード 6 が生じ、伝搬によって干渉により、最大光量がビート（うなり）長の周期で隣接する入力側シングルモード導波路 2 0 間を往復する。このビート長は、0 次モード 5 と 1 次モード 6 の位相差が 2 時に相当するので、方向性結合区間 7 がこのビート長の整数倍であれば、矩形マルチモード導波路 1 の入力端において、干渉による最大光量が元の入力側シングルモード導波路 2 0 に戻るので、実質上モード結合の影響が避けられる。

## 【 0 0 6 2 】

したがって、本実施の形態 3 では、方向性結合区間 7 の光路長が、励振する 0 次固有モード 5 と 1 次固有モード 6 の位相差が 2 となる長さであるとして説明したが、方向性結合区間 7 の光路長が、位相差が 2 となる長さの整数倍であれば、同様の効果が得られる。

## 【 0 0 6 3 】

このように、矩形マルチモード導波路の入力面に並列結合し、隣接する入力側シングルモード導波路の近接したモード結合する区間（方向性結合区間）の光路長を、0 次固有モードと 1 次固有モードとの位相差が 2 となるようにすることで、矩形マルチモード導波路へ入力する 1 次モードを排除できるので、モード群速度分散に起因するパルス幅広がりおよびチャンネル間バラツキを低減することができる。

## 【 0 0 6 4 】

（実施の形態 4）

図 4 に、本発明に関連する発明の実施の形態 4 の光デバイスの概要図を示す。なお、図 1 と同じ構成部分には、同じ符号を用いている。

## 【 0 0 6 5 】

本実施の形態 4 の光デバイスは、図 1 に示した実施の形態 1 の光デバイスと同様に、矩形マルチモード導波路 1 の入力端面に、多チャンネルに対応するための複数の並列した入力側シングルモード導波路 2 1 が、各接続位置が矩形マルチモード導波路 1 の入力端面の幅方向に並ぶように接続されている。そして、各入力側シングルモード導波路 2 1 には、それぞれ外部光源 4 が接続されている。また、矩形マルチモード導波路 1 の出力端面の幅方向の中心位置に、単数の出力側シングルモード導波路 3 が接続されている。

## 【 0 0 6 6 】

本実施の形態 4 の入力側シングルモード導波路 2 1 は、図 4 に示すように、隣接する入力側シングルモード導波路 2 1 間の間隔が離れた区間、すなわち方向性結合区間ではない区間の一部において、コアの断面を狭小化した狭小部分 1 0 を設けている。

## 【 0 0 6 7 】

図 5 で説明したように、外部光源 4 から入力側シングルモード導波路 2 1 へ入射する際

10

20

30

40

50

に、軸ズレ入射 3 6 した場合には、0 次モード 8 以外に 1 次モード 9 が発生する。

【0068】

本実施の形態 4 の入力側シングルモード導波路 2 1 に設けた狭小部分 1 0 は、各外部光源 4 からの入力側シングルモード導波路 2 1 への軸ズレ入射 3 6 に起因する 1 次モード 9 を減衰（放射）させる構造を有している。

【0069】

入力側シングルモード導波路 2 1 のコア径が小さくなると、数 2 の  $\gamma_1 d$  も小さくなるため、数 2 を満たす  $p$  の値も小さくなる。つまり、コア径が小さくなることにより高次モードが発生しなくなるので、狭小部分 1 0 を設けたことにより、矩形マルチモード導波路 1 への入射光の 1 次モードを減衰させることができる。

10

【0070】

また、狭小部分 1 0 を設ける代わりに、入力側シングルモード導波路 2 1 の一部においてコアとクラッドの屈折率差を小さくする構造を設けて、同様に 1 次モードを減衰させてもよい。

【0071】

コアとクラッドの屈折率差を小さくすると、数 1 の右辺が小さくなり数 2 の  $\gamma_1 d$  も小さくなり、数 2 を満たす  $p$  の値も小さくなる。したがって、コアとクラッドの屈折率差を小さくした部分を入力側シングルモード導波路 2 1 に設けた場合にも、矩形マルチモード導波路 1 への入射光の 1 次モードを減衰させることができる。

【0072】

20

このように、入力側シングルモード導波路の一部において、コアの断面を狭小化したり、コアとクラッドの屈折率差を小さくすることにより、光源との軸ズレ結合によって生じた 1 次モードを入力側シングルモード導波路内で減衰（放射）させることで矩形マルチモード導波路へ入力する 1 次モードを排除できるので、モード群速度分散に起因するパルス幅広がりおよびチャンネル間バラツキを低減することができる。

【0073】

以上に説明したように、本発明により、MMI の Self Imaging 現象を利用した光デバイスにおいて、MMI を起こす矩形マルチモード導波路のコアから染み出しの大きなモード群遅延の大きな高次モードを外部から吸収することで伝送速度を制限するモード群速度分散によるパルス幅広がりを低減できる。また、矩形マルチモード導波路へ入力する 1 次成分を低減することで入力位置に対する反対称性によるパルス広がりおよびバラツキを低減できる。

30

【0074】

したがって、本発明の光デバイスを用いることにより、集積化を行っても伝送速度を向上できるので、集積化を行っても伝送速度が低下しない光デバイスを実現できる。

【産業上の利用可能性】

【0075】

本発明に係る光デバイスは、多チャンネル化および小型化した場合でも、モード群遅延分散によるパルス幅広がりを低減できる効果を有し、マルチモード干渉を利用した光回路や光カプラーに使用される光デバイス等として有用である。

40

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図 1】（a）本発明の実施の形態 1 の光デバイスの概要図、（b）本発明の実施の形態 1 の光デバイスの A - A' 断面図

【図 2（a）】本発明の実施の形態 2 の光デバイスの概要図

【図 2（b）】本発明の実施の形態 2 の光デバイスの、矩形マルチモード導波路と高調波フィルタ導波路の分散特性を示す図

【図 3】本発明に関連する発明の実施の形態 3 の光デバイスの概要図

【図 4】本発明に関連する発明の実施の形態 4 の光デバイスの概要図

【図 5】従来の光デバイスにおいて、矩形マルチモード導波路を多チャンネル化した場合

50

に入力光に 1 次モードが発生するメカニズムを説明するための概要図

【図 6】矩形マルチモード導波路における、1 次モード入力と出力波形の変化の関係を示す図

【符号の説明】

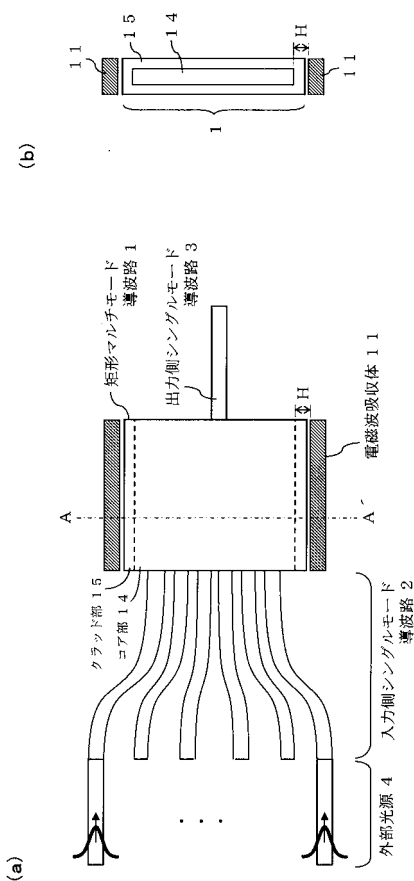
【0077】

- 1 矩形マルチモード導波路
- 2、20、21 入力側シングルモード導波路
- 3 出力側シングルモード導波路
- 4 外部光源
- 5 0 次モード（方向性結合区間）
- 6 1 次モード（方向性結合区間）
- 7 方向性結合区間
- 8 0 次モード
- 9 1 次モード（軸ズレ起因）
- 10 狭小部分
- 11 電磁波吸収体
- 12 高調波フィルター導波路
- 13 長周期回折格子
- 14 コア部
- 15 クラッド部
- 16 0 次モード
- 17 吸収高次モード
- 18 0 次モード（高周波フィルター導波路）
- 35 方向性結合
- 36 軸ズレ

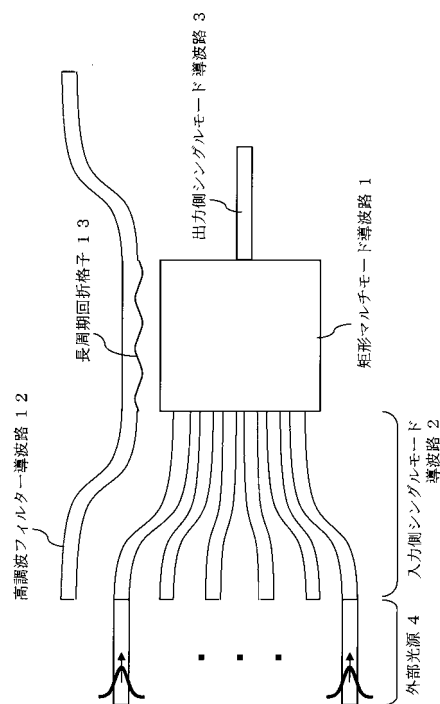
10

20

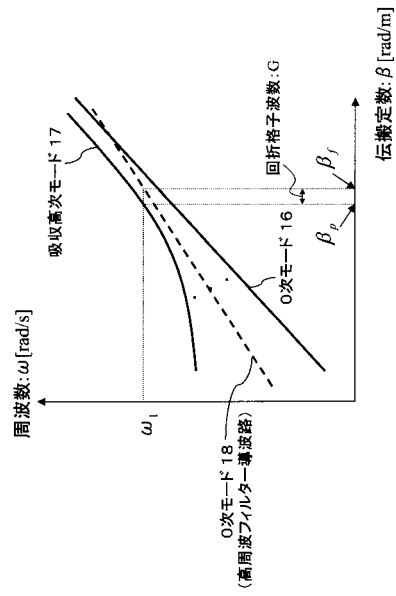
【図 1】



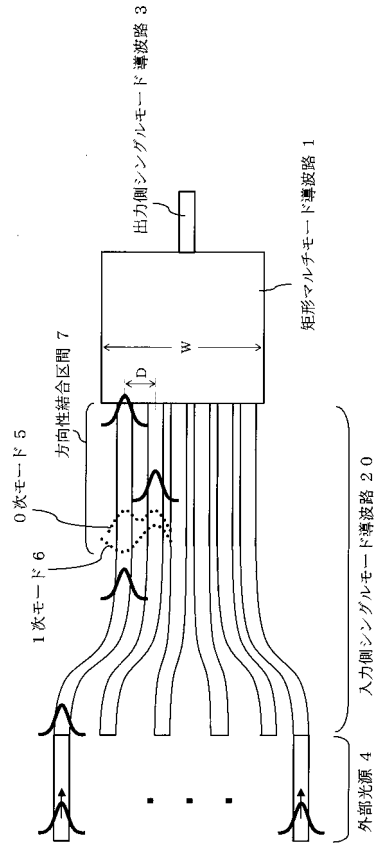
【図 2 (a)】



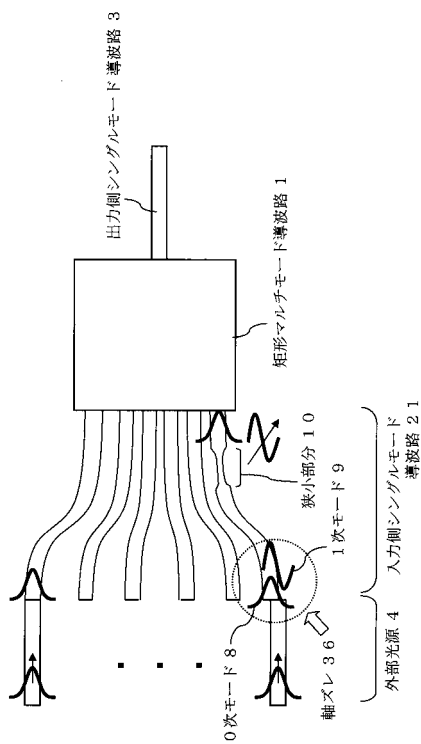
【図 2 ( b )】



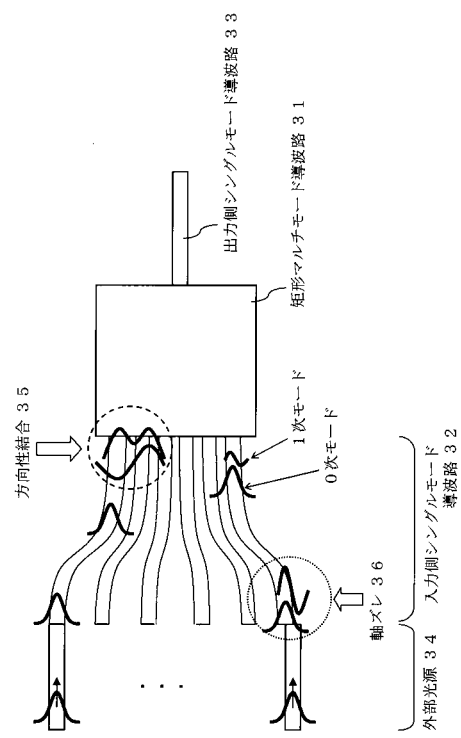
【図 3】



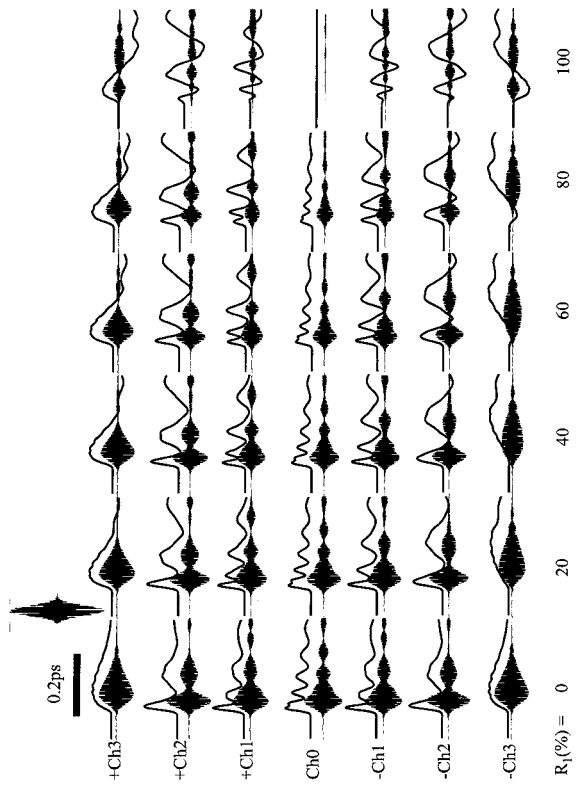
【図 4】



【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-081534(JP,A)

特開平09-178968(JP,A)

特開平05-333223(JP,A)

特開平03-287237(JP,A)

特開平01-302305(JP,A)

特開2006-139269(JP,A)

特開2005-134481(JP,A)

特開2001-166160(JP,A)

特表平8-508351(JP,A)

L.B.Soldano et al., Journal of Lightwave Technology, 1995年 4月, Vol.13, No.4,  
p.615-627

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/00 - 6/43

JSTPlus(JDreamII)

JST7580(JDreamII)