

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 12 月 8 日 (08.12.2005)

PCT

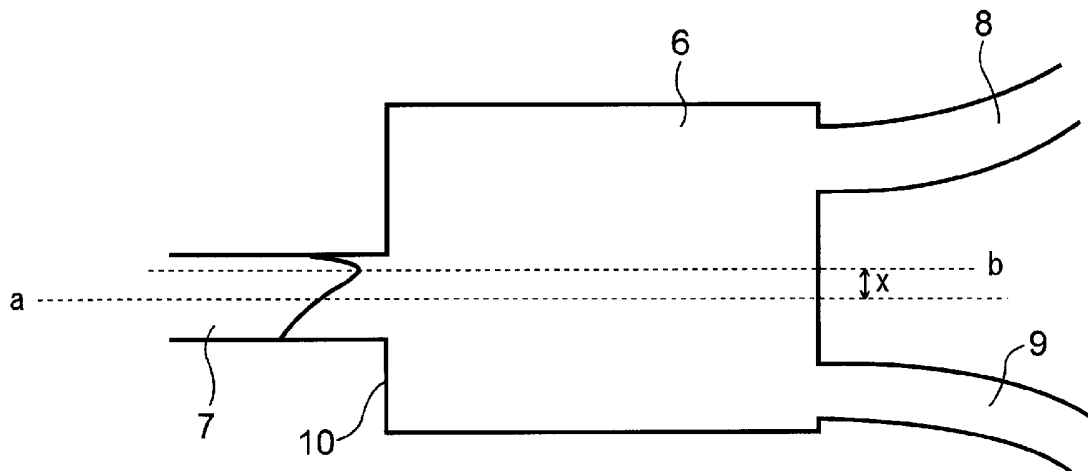
(10) 国際公開番号
WO 2005/116704 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 6/122 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/009531 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宮寺 信生 (MIYADERA, Nobuo) [JP/JP]; 〒3004247 茨城県つくば市和台 4 8 日立化成工業株式会社 先端材料研究所内 Ibaraki (JP). 山本 礼 (YAMAMOTO, Rei) [JP/JP]; 〒3004247 茨城県つくば市和台 4 8 日立化成工業株式会社 先端材料研究所内 Ibaraki (JP).
(22) 国際出願日: 2005 年 5 月 25 日 (25.05.2005)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2004-156230 2004 年 5 月 26 日 (26.05.2004) JP (74) 代理人: 大谷 保, 外(OHTANI, Tamotsu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門三丁目 2 5 番 2 号 ブリヂストン虎ノ門ビル 6 階 大谷特許事務所 Tokyo (JP).
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日立化成工業株式会社 (HITACHI CHEMICAL CO.,LTD.) [JP/JP]; 〒1630449 東京都新宿区西新宿二丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP). (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

[続葉有]

(54) Title: LIGHT BRANCHING OPTICAL WAVEGUIDE

(54) 発明の名称: 光分岐光導波路



(57) Abstract: A light branching optical waveguide comprising at least one incident light waveguide (A) optically connected with one end of a multi-mode optical waveguide, and output light waveguides (B) larger in number than the incident light waveguide (A) optically connected with the other end thereof, characterized in that the intensity distribution of a light incident from at least one optical waveguide (a) out of the incident light waveguide (A) to the multi-mode optical waveguide at the connection surfaces of the incident light waveguide (A) and the multi-mode optical waveguide is asymmetrical with respect to the geometrical center axis of the optical waveguide (a), and the extension of the geometrical center axis of the optical waveguide (a) does not agree with the geometrical center axis of the multi-mode optical waveguide. Providing a low-loss light branching optical waveguide small in branching loss and branching ratio can further offer a light branching optical waveguide being small in wavelength dependency in addition to having reduced variations in branching loss and branching ratio.

(57) 要約: マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも 1 本の入射光導波路 (A) が光学的に接続され、他方の端部に入射光導波路 (A) よりも多数の出射光導波路 (B) が光学的に接続された光分岐光導波路であって、入射光導波路 (A) とマルチモード光導波路の接続面において、入射光導波路 (A) のうちの少なくとも 1 本の光導波路 (a) からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布が、該光導波路 (a) の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつ該光導波路 (a) の幾何学

[続葉有]



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しないことを特徴とする光分岐光導波路である。分岐損失、分岐比のばらつきが少ない低損失な光分岐光導波路を提供すること、さらには、分岐損失、分岐比のばらつきが少ないことに加えて、波長依存性の小さい光分岐光導波路を提供することができる。

明 細 書

光分岐光導波路

技術分野

[0001] 本発明は光分岐光導波路及びそれを用いた光学装置に関する。

背景技術

[0002] 近年のパソコンやインターネットの普及に伴い、情報伝送需要が急激に増大しており、伝送速度の速い光伝送が普及されつつある。光導波路はこのような光伝送における光インターコネクションとして使用されている。

ところで、光集積回路において、光分岐回路、光合波回路は基本的な要素として必要不可欠なものであり、従来よりY型に分岐された光導波路が知られている。従来のY分岐光導波路の構造は図1に示すように、主導波路1、テーパ導波路2、分岐導波路3、4を接続してなり、テーパ導波路2と分岐導波路3、4の間には分岐点5が存在する。

こうしたY分岐光導波路において、光の低損失化は重要な課題であり、その方法の一つとして円弧状に湾曲する分岐導波路3、4の曲率半径を大きくすることが考えられる。しかしながら、その場合には回路のサイズを大きくする必要があり、実際には回路のサイズは基板の大きさによる制約を受けるため、曲率半径の増大には限界があった。

また、分岐点5において、光の低損失化のためには、該分岐点5は鋭峻である必要があるが、パターンニングやエッチングの精度などの原因により、完全に鋭峻な構造とすることはできず、最も光の強度の大きい光学的な中心部分(光伝搬モードの中心軸)が、この分岐点5で散乱され、大きな分岐損失が生じる。

さらに、1×N光スプリッタに入出射ファイバーを接続して実装を行う場合には、治具の工具精度、アライメント装置の機械精度などによって、入射ファイバーと光回路の入射直線光導波路の間で軸ずれを生じる場合がある。この場合には、光導波路において、基本モードの他に、高次モード、放射モードが励振され、分岐比にばらつきが生じる。

[0003] 上述の問題点に対し、主導波路にテーパ導波路を接続し、テーパ導波路の分岐点に、変曲点を有する複数の分岐光導波路を接続し、分岐光導波路にそれぞれ出射導波路を接続してなる分岐合波光導波回路において、分岐光導波路の変曲点及び出射導波路との接続点に軸ずれ(オフセット)を設け、テーパ導波路の分岐点における分岐導波路の間に隙間を設けることが提案されている(例えば特許文献1、特許請求の範囲参照)。この入射光導波路において、伝搬する光の強度分布(界分布)が、図2に示すように、光の強度分布の中心軸(光伝搬モードの中心軸)hと、入射光導波路(コア部)7の幾何学的な中心軸aとが一致し、しかもその形状が光の強度分布の中心軸hに対して対称をなす場合には、上記方法によって、分岐損失、分岐比のばらつきが少ない光分岐光導波路を得ることができる。

しかしながら、例えば光導波路が曲線構造を有する場合には、図3に示すように、光の強度分布の中心軸(光伝搬モードの中心軸)hが、入射光導波路(コア部)7の幾何学的な中心軸aと一致しない場合や、図4に示すように、光の強度分布の中心軸hと入射光導波路(コア部)7の幾何学的な中心軸aとが一致していても、光の強度分布を示す形状が、光の強度分布の中心軸hに対して非対称である場合がある。かかる場合に、上述のような軸ずれ(オフセット)構造を設けたとしても、光分岐光導波路において分岐比を等分とすることができないという問題点があった。

一方、入射光導波路を伝搬する光が、入射光導波路の幾何学的中心軸に対して非対称な光の強度分布(界分布)を持つ場合に、これを対称な形状とするには長い直線部分が必要であるため、モジュールが大型化するという問題点があった。

[0004] 上記テーパ導波路を用いた光分岐光導波路に対して、マルチモード干渉(Multi-Mode Interference、以下「MMI」と省略する場合がある。)型Y分岐光導波路が知られており、種々提案されている(例えば特許文献2、特許請求の範囲参照)。MMI型Y分岐光導波路は、入射導波路、マルチモード導波路部、及び2つの出射導波路からなり、入射導波路を伝搬する基本モード光が、マルチモード導波路の中心軸に入射されると、基本モード光($n=0$)と高次モード光($n=2$)が励振され、両モード光の位相速度差による干渉によって伝搬する光の波形が変形する。この両モード光の位相が π だけ異なる個所では、伝搬する光は2つのピークを持つ強度分布を有し、この

部分に対応して2つの出射導波路を配置することにより、分岐比1:1(等分)の光の分岐を達成することができる(特許文献2、段落0038、0039参照)。従って、テーパ導波路と比較して短距離で光を分岐させることができ、また上述のような、最も光の強度の大きな光学的中心部分が、分岐点で散乱されて、大きな分岐損失が生じるということもない。

[0005] しかしながら、上述の分岐比1:1(等分)の光の分岐を達成するには、入射導波路を伝搬する光が基本モードのみであり、基本モードが入射導波路の中心軸に対して対称であり、入射導波路とマルチモード導波路の中心軸が一致しており、かつマルチモード導波路の形状が中心軸に対して対称である場合に限られる。すなわち、MMI型光分岐光導波路においても、入射側の光導波路を伝搬する光の強度分布(界分布)が、光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称の場合などは、分岐光導波路において、光の分岐比を等分とすることができないという問題点があった。

現実には、マルチモード光導波路に入射される光は、入射光導波路を伝搬する基本モード以外の高次モード、放射モードの成分をも含んでいることが多く、また例えば、入射光導波路が曲率を有している場合には、通常基本モードが非対称となる。

さらには、MMI型光分岐光導波路では、波長によって基本モード光と高次モード光の干渉位置が異なるため、光の強度の損失、分岐比ともに波長依存性を持つという問題点があった。すなわち、光の波長に応じてMMI型光分岐光導波路の設計を変更する必要があり、製造が非効率化する等の問題があった。

[0006] 特許文献1:特開平4-213407号公報

特許文献2:特開2000-121857号公報

発明の開示

[0007] 本発明は、上記問題点に鑑み、分岐損失、分岐比のばらつきが少ない低損失な光分岐光導波路を提供することを目的とし、さらには、分岐損失、分岐比のばらつきが少ないことに加えて、波長依存性の小さい光分岐光導波路を提供することを目的とする。

[0008] 本発明者らは、入射光導波路の幾何学的中心軸とマルチモード光導波路の幾何学的中心軸をずらすことによって、及び／又はマルチモード光導波路のコア形状を

その幾何学的な中心軸に対して非対称とすることによって、入射側の光導波路を伝搬する光の強度分布(界分布)が、該光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称であっても、分岐損失、分岐比のばらつきが小さくなることを見出した。

さらに、入射光導波路の幾何学的中心軸とマルチモード光導波路の幾何学的中心軸をずらすことによって生じる界分布の波長依存性と、マルチモード光導波路のコア形状をその幾何学的な中心軸に対して非対称とすることによって発生する界分布の波長依存性を整合させることにより、波長に依存せず、かつ分岐損失、分岐比のばらつきを抑えることができることを見出し、本発明を完成するに至った。

すなわち本発明は、

(1) マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも1本の入射光導波路(A)が光学的に接続され、他方の端部に入射光導波路(A)よりも多数の出射光導波路(B)が光学的に接続された光分岐光導波路であって、入射光導波路(A)とマルチモード光導波路の接続面において、入射光導波路(A)のうちの少なくとも1本の光導波路(a)からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布が、該光導波路(a)の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつ該光導波路(a)の幾何学的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しないことを特徴とする光分岐光導波路、

(2) マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも1本の入射光導波路(A)が光学的に接続され、他方の端部に入射光導波路(A)よりも多数の出射光導波路(B)が光学的に接続された光分岐光導波路であって、入射光導波路(A)とマルチモード光導波路の接続面において、入射光導波路(A)のうちの少なくとも1本の光導波路(a)からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布が、該光導波路(a)の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつマルチモード光導波路のコア形状が該マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称であることを特徴とする光分岐光導波路、

(3) 前記光導波路(a)の幾何学的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しない上記(2)記載の光分岐光導波路、

(4) 前記光導波路(a)からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布におけ

る最も強度の大きい光学的な中心軸が、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と実質的に一致することを特徴とする上記(1)又は(3)に記載の光分岐光導波路、

(5)前記マルチモード光導波路のコア形状が、少なくとも一方の側端部に切り欠き構造を有する上記(2)～(4)のいずれかに記載の光分岐光導波路、

(6)前記切り欠き構造が、マルチモード光導波路のコアの入射光導波路(A)と接続する側から該コアの側端部に向けて、切り欠いたものであり、かつその形状が入射光導波路(A)と接続する側から出射光導波路(B)と接続する側に向けて正弦曲線構造である上記(5)に記載の光分岐光導波路、

(7)前記入射光導波路(A)が1本の入射光導波路であり、前記出射光導波路(B)が2本以上の出射光導波路であり、2本以上の出射光導波路における各光導波路への光の分岐比が実質的に等分である上記(1)又は(2)に記載の光分岐光導波路、

(8)前記入射光導波路(A)及び／又は出射光導波路(B)がシングルモード光導波路である上記(1)～(7)のいずれかに記載の光分岐光導波路、

(9)前記マルチモード光導波路を構成するコア及び／又はクラッドの一部又は全部がポリマーからなる上記(1)～(8)のいずれかに記載の光分岐光導波路、

(10)前記ポリマーがフッ素を含むポリイミド系樹脂である上記(9)に記載の光分岐光導波路、及び

(11)上記(1)～(10)のいずれかに記載の光分岐光導波路を用いた光学装置、を提供するものである。

[0009] 本発明によれば、分岐損失、分岐比のばらつきが少ない低損失な光分岐光導波路を提供することができ、さらには、分岐損失、分岐比のばらつきが少ないことに加えて、波長依存性の小さい光分岐光導波路を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]従来のY分岐光導波路の構造を示す模式図である。

[図2]光の強度分布(界分布)を示す模式図である。

[図3]光の強度分布(界分布)を示す模式図である。

[図4]光の強度分布(界分布)を示す模式図である。

[図5]マルチモード光分岐光導波路の基本的構成を示す模式図である。

[図6]本発明の光分岐光導波路の構成を示す模式図である。

[図7]本発明のマルチモード光導波路のコア形状を示す模式図である。

[図8]本発明のマルチモード光導波路のコア形状を示す模式図である。

[図9]本発明のマルチモード光導波路のコア形状を示す模式図である。

[図10]本発明の光分岐光導波路を示す模式図である。

[図11]本発明の光分岐光導波路を示す模式図である。

[図12]本発明の光分岐光導波路を示す模式図である。

符号の説明

- [0011]
1. 主導波路(コア部)
 2. テーパー導波路(コア部)
 3. 分岐導波路(コア部)
 4. 分岐導波路(コア部)
 5. 分岐点
 6. マルチモード光導波路(コア部)
 7. 入射光導波路(コア部)
 8. 出射光導波路(コア部)
 9. 出射光導波路(コア部)
 10. 入射光導波路とマルチモード光導波路の接続面
- a:入射光導波路の幾何学的な中心軸
b:マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸
d:出射光導波路間の距離
h:光の強度分布の中心軸(光伝搬モードの中心軸)
L:マルチモード光導波路のコアの長さ
 w_1 :入射光導波路及び出射光導波路の幅
 w_2 :マルチモード光導波路の幅
x:オフセットの距離
z:側端部からの距離

発明を実施するための最良の形態

[0012] 本発明の光分岐光導波路は、マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも1本の入射光導波路(A)が光学的に接続され、他方の端部に入射光導波路(A)よりも多数の出射光導波路(B)が光学的に接続された光分岐光導波路であるが、以下入射光導波路(A)が1本の入射光導波路からなり、出射光導波路(B)が2本の出射光導波路からなる場合を例として具体的に説明する。

まず、本発明の光分岐光導波路の基本的構成について、図5を用いて説明する。本発明の光分岐光導波路の基本的構成は、マルチモード光導波路(コア部)6の一方の端部に、1本の入射光導波路(コア部)7が光学的に接続され、他方の端部に、例えば2本の出射光導波路(コア部)8及び9が光学的に接続されたものである。ここで、2本の出射光導波路(コア部)8及び9への光の分岐比は実質的に等分である。なお、光導波路(コア部)7、8及び9とマルチモード光導波路(コア部)6とは光学的に接続されていればよく、図5に示すように間隙なく接続されていてもよいし、又は光導波路(コア部)7、8及び9とマルチモード光導波路(コア部)6との間に間隙があってもよい。さらには、光導波路(コア部)7、8及び9に代えて、光ファイバーを直接マルチモード光導波路に光学的に接続させる場合をも含むものである。

入射光導波路(コア部)7からマルチモード光導波路(コア部)6に入射される光の強度分布は、入射光導波路(コア部)7とマルチモード光導波路(コア部)6の接続面10において、入射光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称である。ここで、入射光導波路の幾何学的な中心軸とは、入射光導波路を構成するコアの中心軸をいい、該中心軸から両側のクラッドまでの距離が等間隔である。

[0013] 図6は本願の第一の発明における、光分岐光導波路の一形態を示すものであり、入射光導波路(コア部)7の幾何学的な中心軸aの延長線がマルチモード光導波路(コア部)6の幾何学的な中心軸bと一致しないことを特徴とする。ここで、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸とは、マルチモード光導波路を構成するコアの中心軸をいい、該中心軸から両側のクラッドまでの距離が等間隔である。

入射光導波路(コア部)7の幾何学的な中心軸aの延長線とマルチモード光導波路(コア部)6の幾何学的な中心軸bの軸ずれ(オフセット)の距離xは、入射光導波路と

マルチモード光導波路の接続面における、入射光導波路からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布の非対称性に応じて適宜決定されるが、通常 $1.5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、さらには $0.7\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

- [0014] また、図6に示すように、入射光導波路(コア部)7からマルチモード光導波路(コア部)6に入射される光の強度分布における最も強度の大きい光学的な中心軸(光伝搬モードの中心軸)が、マルチモード光導波路(コア部)6の幾何学的な中心軸bと実質的に一致するように軸ずれ(オフセット)の距離xを設定することが好ましい。これは入射光導波路(コア部)7を伝搬する光の強度分布が、図3に示すような形状を有する場合に特に有効である。

このように、入射光導波路の幾何学的中心軸aと、マルチモード光導波路の幾何学的中心軸bの軸ずれ(オフセット)によって、入射側の光導波路を伝搬する光の強度分布(界分布)が、該光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称であっても、分岐損失、分岐比のばらつきを小さくすることができる。

- [0015] 次に、本願の第二の発明に係る光分岐光導波路は、図5に示す基本構成を有し、かつマルチモード光導波路(コア)6のコア形状が、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸bに対して非対称であることを特徴とする。

マルチモード光導波路は、通常幾何学的な中心軸bに対して対称な形状を有しており、マルチモード光導波路の長さ、幅を制御することにより、例えば伝搬する光をほぼ均等な2つのピークを持つ強度分布とし、この部分に対応して2つの出射光導波路を配置することにより、分岐比1:1(等分)の光の分岐を達成するものである。しかしながら、前述のように、入射側の光導波路を伝搬する光の強度分布(界分布)が、該入射側の光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称の場合、マルチモード光導波路内を伝搬する光は均等な2つのピークを持つ強度分布を有さず、分岐光導波路において、光の分岐比を等分とすることができない。

- [0016] これに対して、第二の発明では、マルチモード光導波路のコア形状が、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称であることに特徴がある。ここで、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸とは、前述のマルチモード光導波路を構成するコアの中心軸と同一のものを指し、後に詳述する切り欠き構造の有無によって

移動するものではない。

マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称なコア形状としては、種々のものが考えられるが、製造の容易さ等を考慮すると、マルチモード光導波路のコア形状が、少なくとも一方の側端部に切り欠き構造を有するものであることが好ましい。

ここで、切り欠き構造とは、コアの側端部を何らかの形状に切った構造であればよく、例えば、該コアの側端部とマルチモード光導波路の幾何学的な中心軸との距離が、光の進行方向に対して、少なくとも一部で互いに異なるように構成したものが挙げられる。より具体的には、図7に示すように、マルチモード光導波路の光の入射部におけるコアの幅を、出射部のコアの幅よりも小さくするように切り欠く形状や、図8に示すように、マルチモード光導波路のコアの中間部分において、側端部を切り欠く形状等が挙げられる。

[0017] また、図9に示すように、光の進行方向に対して、マルチモード光導波路のコアの側端部とマルチモード光導波路の幾何学的な中心軸 b との距離が、曲線状に変化するようにした形状を挙げることができる。この場合には、マルチモード光導波路のコアの側端部とマルチモード光導波路の幾何学的中心部 b との距離の変化を、マルチモード光導波路の出口付近において緩やかにするとよい。こうした形状をとることで、光の強度の損失をより抑制することができる。

さらには該距離をマルチモード光導波路の入り口から出口に向かって正弦関数状に大きくすること、すなわち、前記切り欠き構造が、マルチモード光導波路の入り口部分から出口部分に向けて正弦曲線構造を有するものであることが好ましい。光の強度の損失をより抑制できるとともに、CAD等で容易に設計できるという利点がある。

[0018] また、本発明の目的である分岐損失、分岐比のばらつきが小さく、かつ波長依存性の小さい低損失なマルチモード光分岐光導波路を得るためには、本願の第三の発明である入射光導波路の幾何学的な中心軸の延長線が、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致せず、かつマルチモード光導波路のコア形状が、その幾何学的な中心軸に対して非対称であることがより好ましい。

入射光導波路の幾何学的中心軸とマルチモード光導波路の幾何学的中心軸の軸ずれ(オフセット)によって、上述のように分岐損失及び分岐比のばらつきを小さくすることができるが、それと同時に光導波路を伝搬する光の強度分布(界分布)の波長依存性が生じる。従って、使用する光の波長によって、光導波路の設計を変更する必要性がある。

一方、マルチモード光導波路のコア形状をその幾何学的な中心軸に対して非対称とすることによって、分岐損失及び分岐比のばらつきを小さくすることができるが、それと同時に界分布の波長依存性が生じ、オフセットを行ったときと同様に、使用する光の波長によって、光導波路の設計を変更する必要性がある。

[0019] これに対して、本願の第三の発明は、オフセットによって生じる界分布の波長依存性と、マルチモード光導波路のコア形状をその幾何学的な中心軸に対して非対称とすることによって生じる界分布の波長依存性を整合させることにより、波長に依存せず、かつ分岐損失、分岐比のばらつきを抑えるものである。すなわち、2つの波長依存性を生じさせる原因である、オフセットとマルチモード光導波路のコア形状の非対称性を、互いの波長依存性を相殺させるように、光導波路を設計するものである。

なお、上記の説明では、出射光導波路が2つのいわゆるY分岐光導波路をもって説明したが、これに限定されず、さらに多くの出射光導波路を有する光導波路にも適用可能である。ここで、本発明において「Y分岐」又は「Y型分岐」とは、直線3本で構成された狭義のY型分岐構造を指すのではなく、1本の入力から2本の出力(もしくはその逆)に分岐する1×2分岐の構造の光導波路の回路要素を指すものとする。

また、2本の出射光導波路(コア部)8及び9への光の分岐比は実質的に等分である場合について説明したが、マルチモード光導波路の長さ、幅を制御することにより、例えば1:2の分岐比など任意の分岐比を得ることができるため(例えば、特開2000-121857参照)、これに本発明を適用することで、任意の分岐比で、かつ分岐損失、分岐比のばらつきが少なく、しかも、波長依存性の小さい光分岐光導波路を得ることができる。

さらに、上記の説明では、入射光導波路が1本である場合について説明したが、入射光導波路は複数あってもよい。この場合には、複数ある入射光導波路のうち少なく

とも1本の光導波路において上記の条件を満たせばよい。

[0020] 本発明において、入射光導波路及び出射光導波路は、いずれか一方、または両方がシングルモード光導波路であることが好ましい。シングルモード光導波路を用いると、マルチモード光導波路を用いた場合に比較して、入力的光強度分布が安定するため、入力光強度分布に対応した分岐構造を提案する本発明の効果を的確に安定して発揮することができる。

また、入射光導波路及び／又は出射光導波路は光ファイバーであってもよい。本発明は、複数の分岐構造が連続して使用される場合、例えば 1×2 分岐構造をツリー構成として $1 \times n$ 分岐のスプリッタを構成する場合に、特に効果を発揮する。この場合には第1段目の入射光導波路は、光ファイバーと接続されることが多く、入射光導波路自体を光ファイバーとすることは、本発明の好ましい態様の一つである。なお、光ファイバーは反射減衰量の低減という利点があることから斜めに接続される場合があり、その場合には入射光強度分布が非対称となるため、本発明が特に有効である。

さらに、一般に双方向の光伝送では、Y型分岐光導波路において、出射光導波路から、入射光導波路に光を伝搬させることもあり、本発明の光導波路は光分岐光導波路のみではなく、光合波光導波路として使用することもできる。この場合、出射光導波路は入射用の光導波路として、入射光導波路は出射用光導波路として用いられ、本発明の光導波路は、マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも1本の出射用として用いられる光導波路(A)が光学的に接続され、他方の端部に光導波路(A)よりも多数の入射用として用いられる光導波路(B)が光学的に接続された光合波光導波路であって、光導波路(A)とマルチモード光導波路の接続面において、マルチモード光導波路から出射され光導波路(A)のうちの少なくとも1本の光導波路(a)に結合される光の強度分布が、該光導波路(a)の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつ該光導波路(a)の幾何学的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しないか又はマルチモード光導波路のコア形状が該マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称である光合波光導波路となる。

[0021] 次に、本発明のマルチモード光導波路を構成するコア及びクラッドの材料としては

、ガラスや半導体材料等の無機材料、樹脂等の有機材料など様々なものが挙げられるが、樹脂等のポリマーがドライエッチング等により短時間で加工しやすいため好ましい。なお、クラッドの全部もしくは一部として空気層を用いてもよい。このようなポリマーとしてはいずれのものも使用できるが、具体例としては、ポリイミド系樹脂(例、ポリイミド樹脂、ポリ(イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド)樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエーテルケトン樹脂、ポリエステルイミド樹脂等)、シリコーン系樹脂、アクリル系樹脂、ポリスチレン系樹脂、ポリカーボネート系樹脂、ポリアミド系樹脂、ポリエステル系樹脂、フェノール系樹脂、ポリキノリン系樹脂、ポリキノキサリン系樹脂、ポリベンゾオキサゾール系樹脂、ポリベンゾチアゾール系樹脂、ポリベンゾイミダゾール系樹脂、及びフォトブリーチング用樹脂(例えば特開2001-296438号公報記載のポリシラン、ニトロン化合物を有するシリコーン樹脂、DMAPN{(4-N, N-ジメチルアミノフェニル)-N-フェニルニトロン}を含有するポリメタクリル酸メチル、ダイポリマー(dye polymer)、ニトロン化合物を含有するポリイミド樹脂あるいはエポキシ樹脂、特開2000-66051号公報記載の加水分解性シラン化合物等)が挙げられる。上記樹脂はフッ素原子を有しているものであってもよい。ポリマーとして好ましいものとしては、ガラス転移温度(Tg)が高く、耐熱性に優れることからポリイミド樹脂が挙げられ、その中でも透過率、屈折率特性からフッ素を含むポリイミド系樹脂が特に好ましい。

[0022] フッ素を含むポリイミド系樹脂としては、フッ素を含むポリイミド樹脂、フッ素を含むポリ(イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド)樹脂、フッ素を含むポリエーテルイミド樹脂、フッ素を含むポリアミドイミド樹脂などが挙げられる。

上記フッ素を含むポリイミド系樹脂の前駆体溶液は、N-メチル-2-ピロリドン、N, N-ジメチルアセトアミド、 γ -ブチロラクトン、ジメチルスルホキシドなどの極性溶媒中で、テトラカルボン酸二無水物とジアミンを反応させることにより得られる。フッ素は、テトラカルボン酸二無水物とジアミンの両者に含まれていてもよいし、いずれか一方にのみ含まれていてもよい。

また、上記フッ素を含まないポリイミド系樹脂の前駆体溶液は、N-メチル-2-ピロリドン、N, N-ジメチルアセトアミド、 γ -ブチロラクトン、ジメチルスルホキシドなどの極性溶媒中で、フッ素を含まないテトラカルボン酸二無水物とフッ素を含まないジ

アミンを反応させることにより得られる。

[0023] フッ素を含む酸二無水物の例としては、(トリフルオロメチル)ピロメリット酸二無水物、ジ(トリフルオロメチル)ピロメリット酸二無水物、ジ(ヘプタフルオロプロピル)ピロメリット酸二無水物、ペンタフルオロエチルピロメリット酸二無水物、ビス{3, 5-ジ(トリフルオロメチル)フェノキシ}ピロメリット酸二無水物、2, 2-ビス(3, 4-ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物、5, 5'-ビス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシビフェニル二無水物、2, 2', 5, 5'-テトラキス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシビフェニル二無水物、5, 5'-ビス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシジフェニルエーテル二無水物、5, 5'-ビス(トリフルオロメチル)-3, 3', 4, 4'-テトラカルボキシベンゾフェノン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ベンゼン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、2, 2-ビス{(4-(3, 4-ジカルボキシフェノキシ)フェニル)}ヘキサフルオロプロパン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビフェニル二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ジフェニルエーテル二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル二無水物などが挙げられる。

[0024] フッ素を含むジアミンとしては、例えば、4-(1H, 1H, 11H-エイコサフルオロウンデカノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-ブタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-ヘプタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-オクタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-ペンタフルオロフェノキシ-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(2, 3, 5, 6-テトラフルオロフェノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(4-フルオロフェノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H, 2H, 2H-パーフルオロ-1-

ヘキサノキシ) - 1, 3-ジアミノベンゼン、4- (1H, 1H, 2H, 2H-パーフルオロ-1-ドデカノキシ) - 1, 3-ジアミノベンゼン、2, 5-ジアミノベンゾトリフルオリド、ビス(トリフルオロメチル)フェニレンジアミン、ジアミノテトラ(トリフルオロメチル)ベンゼン、ジアミノ(ペンタフルオロエチル)ベンゼン、2, 5-ジアミノ(パーフルオロヘキシル)ベンゼン、2, 5-ジアミノ(パーフルオロブチル)ベンゼン、2, 2'-ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル、3, 3' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル、オクタフルオロベンジジン、4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、2, 2-ビス(p-アミノフェニル)ヘキサフルオロプロパン、1, 3-ビス(アニリノ)ヘキサフルオロプロパン、1, 4-ビス(アニリノ)オクタフルオロブタン、1, 5-ビス(アニリノ)デカフルオロペンタン、1, 7-ビス(アニリノ)テトラデカフルオロヘプタン、2, 2'-ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' , 5, 5' - テトラキス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノベンゾフェノン、4, 4' - ジアミノ-p-テルフェニル、1, 4-ビス(p-アミノフェニル)ベンゼン、p-ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン、2, 2-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(3-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(2-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)-3, 5-ジメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)-3, 5-ジトリフルオロメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、4, 4' - ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4' - ビス(4-アミノ-3-トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4' - ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、4, 4' - ビス(3-アミノ-5-トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、2, 2-ビス{4-(4-アミノ-3-トリフルオロメチルフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、ビス{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}ビフェニル、ビス[{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}フェニル]ヘキサフルオロプロ

ロパン、ビス{2-[(アミノフェノキシ)フェニル]ヘキサフルオロイソプロピル}ベンゼンなどが挙げられる。

- [0025] 上記のテトラカルボン酸二無水物およびジアミンは二種以上を併用してもよい。ポリイミド系樹脂の前駆体溶液として、感光性を有するものを使用することもできる。

ポリイミド系樹脂前駆体溶液は、スピナあるいは印刷などによる方法により基板表面上に塗布され、最終温度200～400℃で熱処理し硬化されてポリイミド系樹脂被膜とされる。

- [0026] 本発明の光学装置は、上記(1)～(10)のいずれかに記載の光導波路を用いて構成される。このような光学装置としては、光スプリッタ、方向性光結合器、光カプラ、光合分岐器、光合分波器、光送信モジュール、光受信モジュール、光送受信モジュール、光スイッチ、光変調器、光フィルタ、光偏光器、光分散補償器、光アドドロップモジュール、光クロスコネクタなどが挙げられる。

実施例

- [0027] 次に、本発明を実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明は、これらの例によってなんら限定されるものではない。

実施例1

以下の材料を用いて、図10に示される概略構造を有する光分岐光導波路を作製した。

コア:フッ素化ポリイミド樹脂(日立化成工業株式会社製「OPI-N3205」)

クラッド:フッ素化ポリイミド樹脂(日立化成工業株式会社製「OPI-N1005」)

入射光導波路(シングルモード、コア部)7、2本の出射光導波路(シングルモード、コア部)8及び9の幅 w_1 は $6.5\mu\text{m}$ 、マルチモード光導波路の幅 w_2 は $15\mu\text{m}$ 、長さLは $220\mu\text{m}$ 、マルチモード光導波路の出口における出射光導波路(シングルモード、コア部)の距離dは $3.5\mu\text{m}$ である。また入射光導波路(コア部)7は、図には示さないが、曲率半径rが15mmの曲線部分を有し、入射光導波路とマルチモード光導波路の接続面10において、入射光導波路からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布は、入射光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称な形状を有していた。入射光導波路(コア部)7の幾何学的中心軸aとマルチモード光導波路の幾何学

的中心軸bとの軸ずれ(オフセット)xを $0.5\mu\text{m}$ とした。波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を用いて、2本の出射光導波路(コア部)8及び9へ出射される光の分岐比を測定した。その結果、光の分岐比は0.99:1であった。

[0028] 比較例1

入射光導波路(コア部)7の幾何学的中心軸aと、マルチモード光導波路の幾何学的中心軸bとの軸ずれ(オフセット)を行わないこと以外は実施例1と同様にして光分岐光導波路を作製し、2本の出射光導波路(コア部)8及び9へ出射される光の分岐比を測定した。その結果、光の分岐比は光の波長が $1.31\mu\text{m}$ の場合に0.98:1、光の波長が $1.55\mu\text{m}$ の場合に0.90:1であった。

[0029] 実施例2

実施例1に記載したのと同様の材料を用いて、コア形状が図11に示されるような切り欠き構造を持つ、マルチモード光導波路を有する光分岐光導波路を作製した。

入射光導波路(コア部)7、2本の出射光導波路(コア部)8及び9の幅 w_1 は $6.5\mu\text{m}$ 、マルチモード光導波路の幅 w_2 は $15\mu\text{m}$ 、長さLは $220\mu\text{m}$ 、マルチモード光導波路の出口における出射光導波路の距離dは $3.5\mu\text{m}$ である。入射光導波路(コア部)7の幾何学的中心軸aとマルチモード光導波路の幾何学的中心軸bは一致させた。マルチモード光導波路の入り口部分は、側端部から距離z($z=0.6\mu\text{m}$)だけ短くなっており、該入り口部分からマルチモード光導波路の出口部分に向けて正弦曲線構造を有するものである。また入射光導波路(コア部)7は、図には示さないが、曲率半径rが15mmの曲線部分を有し、入射光導波路とマルチモード光導波路の接続面10において、入射光導波路からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布は、入射光導波路の幾何学的な中心軸aに対して非対称な形状を有していた。波長 $1.31\mu\text{m}$ の光を用いて、2本の出射光導波路(コア部)8及び9へ出射される光の分岐比を測定した。その結果、光の分岐比は1:1であった。

[0030] 実施例3

実施例1に記載したのと同様の材料を用いて、マルチモード光導波路のコア形状が図12に示されるような切り欠き構造を持ち、かつ軸ずれ(オフセット)構造を持つ光分岐光導波路を作製した。

入射光導波路(コア部)7、2本の出射光導波路(コア部)8及び9の幅 w_1 は $6.5\mu\text{m}$ 、マルチモード光導波路の幅 w_2 は $15\mu\text{m}$ 、長さ L は $220\mu\text{m}$ 、マルチモード光導波路の出口における出射光導波路の距離 d は $3.5\mu\text{m}$ である。マルチモード光導波路の入り口部分は、側端部から距離 z ($z=0.8\mu\text{m}$)だけ短くなっており、該入り口部分からマルチモード光導波路の出口部分に向けて正弦曲線構造を有するものである。また、入射光導波路(コア部)7の幾何学的中心軸 a とマルチモード光導波路の幾何学的中心軸 b との軸ずれ(オフセット) x を $0.9\mu\text{m}$ とした。

なお、入射光導波路(コア部)7は、図には示さないが、曲率半径 r が 15mm の曲線部分を有し、入射光導波路とマルチモード光導波路の接続面10において、入射光導波路からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布は、入射光導波路の幾何学的な中心軸 a に対して非対称な形状を有していた。

波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を用いて、2本の出射光導波路(コア部)8及び9へ出射される光の分岐比を測定した。その結果、光の分岐比は $1:1$ であった。

[0031] 実施例4

マルチモード光導波路の入り口部分が、側端部から距離 z ($z=0.2\mu\text{m}$)だけ短くなっており、入射光導波路(コア部)7の幾何学的中心軸 a とマルチモード光導波路の幾何学的中心軸 b との軸ずれ(オフセット) x を $0.5\mu\text{m}$ としたこと以外は、実施例3と同様にして光分岐光導波路を作製した。

波長 $1.31\mu\text{m}$ 及び $1.55\mu\text{m}$ の光を用いて、2本の出射光導波路(コア部)8及び9へ出射される光の分岐比を測定した。その結果、光の分岐比は波長 $1.31\mu\text{m}$ では $0.99:1$ 、 $1.55\mu\text{m}$ では $1.01:1$ であった。

[0032] 実施例1と実施例3を比較すると、側端部からの距離 z と、オフセット x 以外の光導波路形状は同一であり、いずれも分岐比が実質的に等分となった。すなわち、複数の z と x との組み合わせによって、分岐比を $1:1$ とすることができた。実施例1及び3では、 $z=-2.08x+1.12$ の関係を満足する z と x を選択することにより、分岐比を実質的に等分とすることができた。

また、入射光導波路の有する曲率によっても、 z と x の関係は異なるが、同様に、分岐比が実質的に等分となるように、 z と x を選択することが可能である。

[0033] さらに、 z と x との関係は用いる光の波長により異なるが、波長の異なる2種類の光を用いても、分岐比が実質的に等分となるように、 z と x を選択することが可能であり、実施例4に示すように、波長の異なる2種類の光で分岐比1:1を実現することができた。

すなわち、図12に示される構造を有する光分岐光導波路によれば、入射光導波路(コア部)7からマルチモード光導波路(コア部)6に入射される光の強度分布が、入射光導波路とマルチモード光導波路の接続面10において、入射光導波路(コア部)7の幾何学的な中心軸に対して非対称であっても、光の波長に依存することなく、2本の出射光導波路(コア部)8及び9への光の分岐比を実質的に等分とすることができる。

産業上の利用可能性

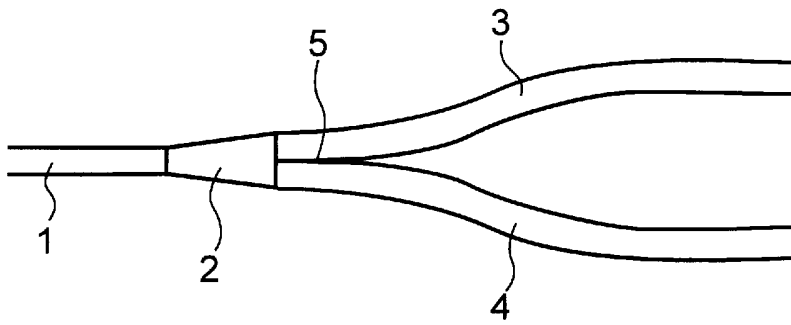
[0034] 本発明によれば、分岐損失、分岐比のばらつきが少ない低損失な光分岐光導波路を得ることができ、さらには、分岐損失、分岐比のばらつきが少ないことに加えて、波長依存性の小さい光分岐光導波路を得ることができる。また、この光分岐光導波路をスプリッタモジュールとして用いることにより、光損失の小さい、1:1の安定した分岐比を有する光学装置を得ることができる。

請求の範囲

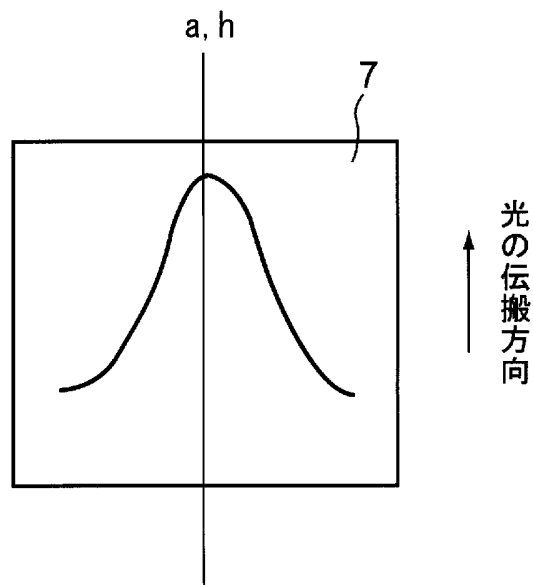
- [1] マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも1本の入射光導波路(A)が光学的に接続され、他方の端部に入射光導波路(A)よりも多数の出射光導波路(B)が光学的に接続された光分岐光導波路であって、入射光導波路(A)とマルチモード光導波路の接続面において、入射光導波路(A)のうちの少なくとも1本の光導波路(a)からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布が、該光導波路(a)の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつ該光導波路(a)の幾何学的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しないことを特徴とする光分岐光導波路。
- [2] マルチモード光導波路の一方の端部に、少なくとも1本の入射光導波路(A)が光学的に接続され、他方の端部に入射光導波路(A)よりも多数の出射光導波路(B)が光学的に接続された光分岐光導波路であって、入射光導波路(A)とマルチモード光導波路の接続面において、入射光導波路(A)のうちの少なくとも1本の光導波路(a)からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布が、該光導波路(a)の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつマルチモード光導波路のコア形状が該マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称であることを特徴とする光分岐光導波路。
- [3] 前記光導波路(a)の幾何学的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しない請求項2記載の光分岐光導波路。
- [4] 前記光導波路(a)からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布における最も強度の大きい光学的な中心軸が、マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と実質的に一致することを特徴とする請求項1又は3に記載の光分岐光導波路。
- [5] 前記マルチモード光導波路のコア形状が、少なくとも一方の側端部に切り欠き構造を有する請求項2～4のいずれかに記載の光分岐光導波路。
- [6] 前記切り欠き構造が、マルチモード光導波路のコアの入射光導波路(A)と接続する側から該コアの側端部に向けて、切り欠いたものであり、かつその形状が入射光導波路(A)と接続する側から出射光導波路(B)と接続する側に向けて正弦曲線構造である請求項5記載の光分岐光導波路。

- [7] 前記入射光導波路(A)が1本の入射光導波路であり、前記出射光導波路(B)が2本以上の出射光導波路であり、2本以上の出射光導波路における各光導波路への光の分岐比が実質的に等分である請求項1又は2に記載の光分岐光導波路。
- [8] 前記入射光導波路(A)及び／又は出射光導波路(B)がシングルモード光導波路である請求項1～7のいずれかに記載の光分岐光導波路。
- [9] 前記マルチモード光導波路を構成するコア及び／又はクラッドの一部又は全部がポリマーからなる請求項1～8のいずれかに記載の光分岐光導波路。
- [10] 前記ポリマーがフッ素を含むポリイミド系樹脂である請求項9に記載の光分岐光導波路。
- [11] 請求項1～10のいずれかに記載の光分岐光導波路を用いた光学装置。

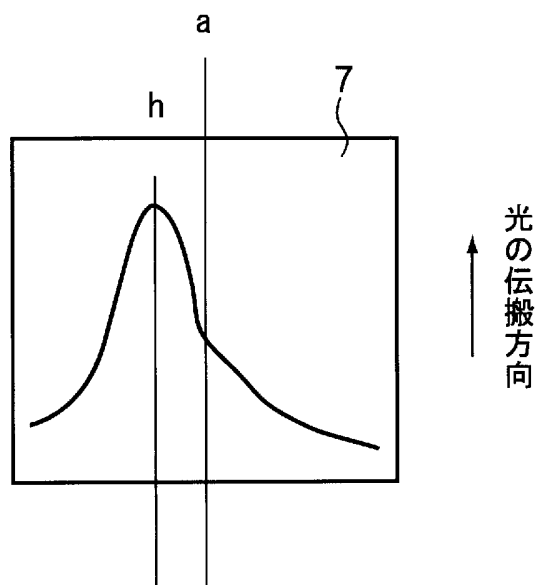
[図1]



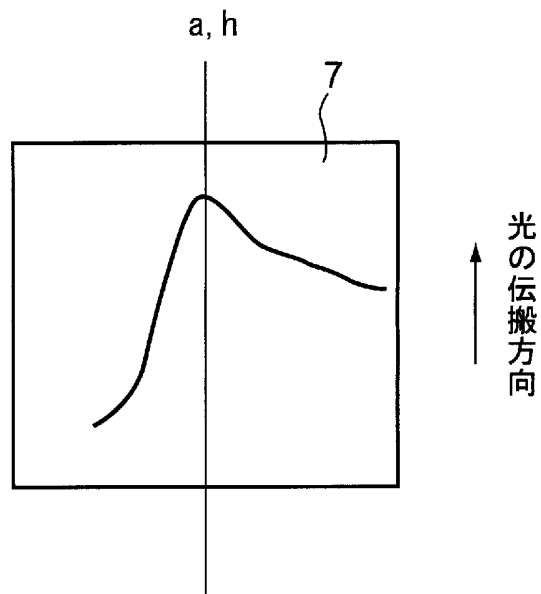
[図2]



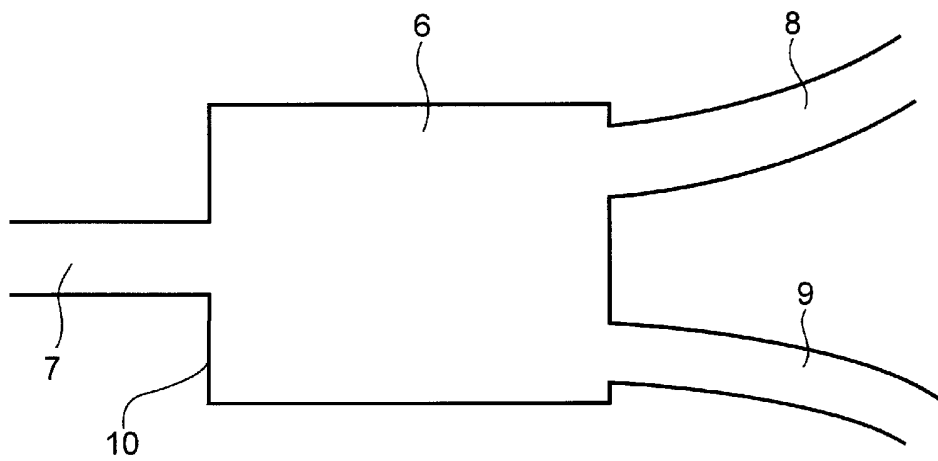
[図3]



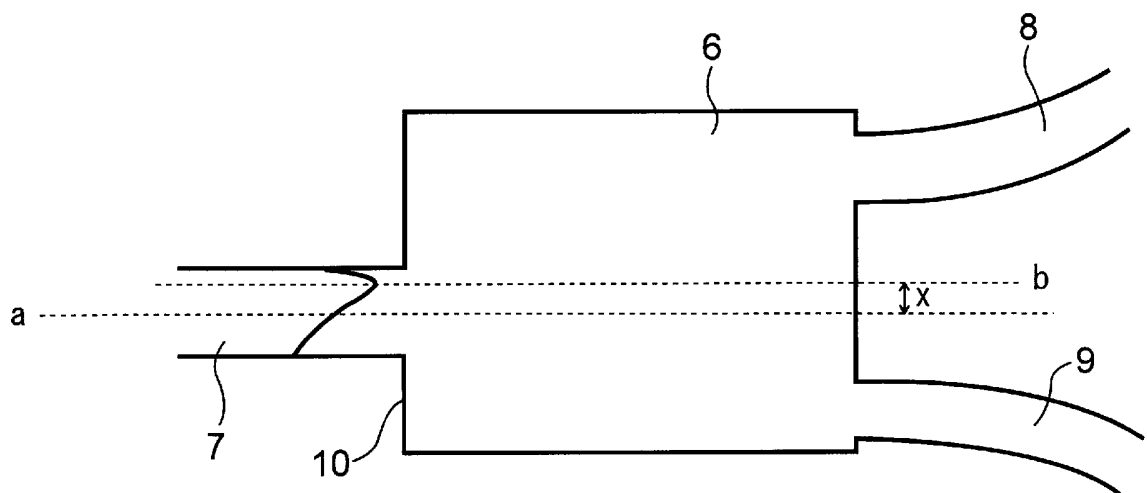
[図4]



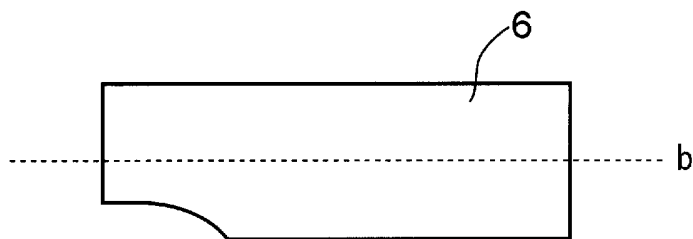
[図5]



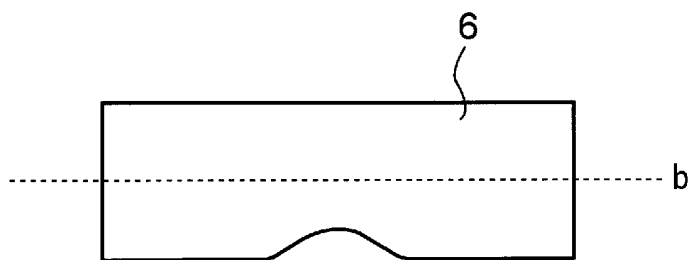
[図6]



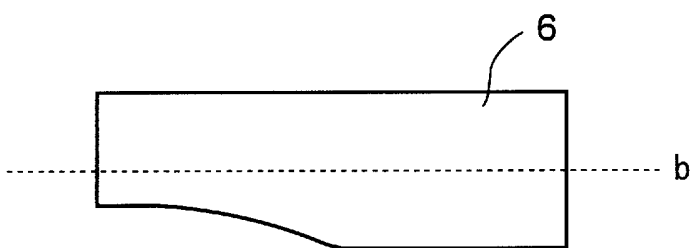
[図7]



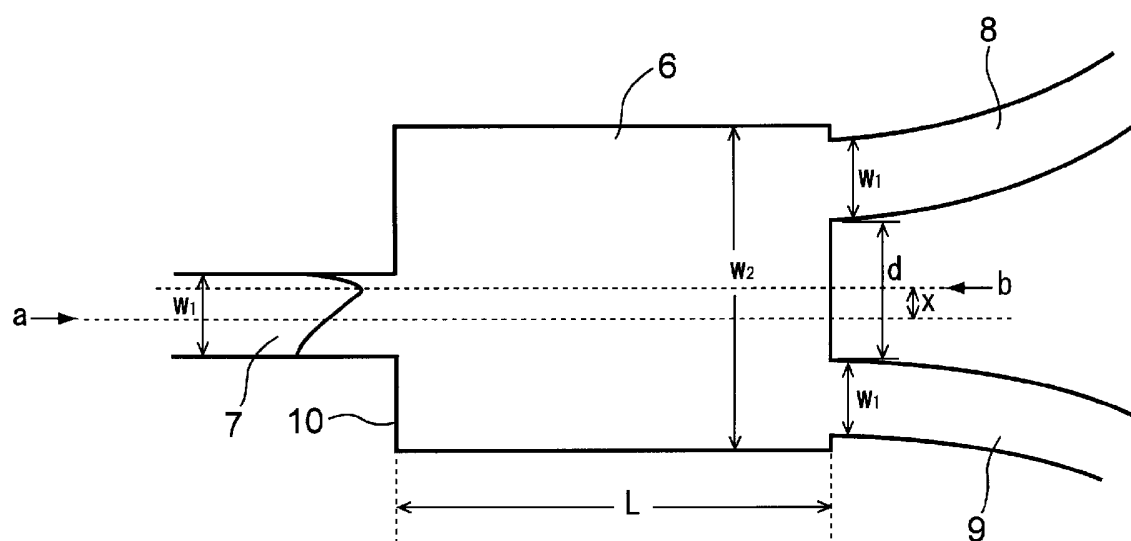
[図8]



[図9]



[図10]



The diagram shows a cross-sectional view of a microfluidic device. A central channel (6) is defined by top and bottom walls. On the left, a side channel (7) is connected to the central channel via a curved transition. On the right, another side channel (8) is connected via a curved transition. A vertical channel (9) is located on the right side of the central channel. The central channel has a total width of w_2 . The side channels have a width of w_1 . The vertical channel has a height of d . The distance from the left wall of the central channel to the right wall of the vertical channel is L . The distance from the bottom wall of the central channel to the bottom wall of the vertical channel is z . Arrows labeled 'a' and 'b' indicate flow directions. A wavy line is shown in the side channel (7).

The diagram shows a cross-sectional view of a microfluidic device. A central channel (6) is flanked by two side channels (7 and 8). The central channel has a width w_2 and a length L . The side channels have a width w_1 . The device is defined by two main walls (9 and 10). A dashed line indicates the center of the device. A coordinate system is shown with the x -axis pointing to the right and the z -axis pointing downwards. A distance d is indicated between the top and bottom walls of the central channel. A distance z is indicated between the top and bottom walls of the side channels. A distance b is indicated between the right wall of the central channel and the right wall of the side channels. A distance a is indicated between the left wall of the central channel and the left wall of the side channels.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009531

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl.⁷ G02B6/122

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)

Int. Cl.⁷ G02B6/12-6/14, G02B6/28-6/293

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	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2004-101995 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 02 April, 2004 (02.04.04), Par. Nos. [0017] to [0020]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1 4-6
X A	JP 2000-121857 A (Hitachi, Ltd.), 28 April, 2000 (28.04.00) & US 6236784 B1	2 3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent 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

14 July, 2005 (14.07.05)

Date of mailing of the international search report

02 August, 2005 (02.08.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009531

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Document: JP 2004-101995 A describes a light branching optical waveguide comprising one incident light waveguide optically connected with one end of a multi-mode optical waveguide, and at least two output light waveguides optically connected with the other end thereof, wherein the intensity distribution of a light incident from the incident light waveguide to the multi-mode optical waveguide at the connection surfaces of the incident light waveguide and the multi-mode optical waveguide is asymmetrical with respect to the geometrical center axis of the incident light waveguide, and the extension of the geometrical center axis of the incident light waveguide does not agree with (Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.: 1 - 6

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009531

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

the geometrical center axis of the multi-mode optical waveguide. Therefore, the invention in claim 1 is not novel because of Document 1. Consequently there exists no special technical feature specified in PCT Rule 13.2 between claims [1,4-6] and claims [2-3] [7] [8] [9-10] [11], since there exists no contribution to be made over the prior art that is common to claims 1-11.

Therefore, since no technical relationship within the meaning of PCT Rule 13 can be found between claims [1,4-6] and claims [2-3] [7] [8] [9-10] [11], this international application does not fulfill the requirement of unit of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B6/122

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.⁷ G02B6/12-6/14 G02B6/28-6/293

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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)

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 請求の範囲の番号
X A	JP 2004-101995 A (日本電信電話株式会社) 2004.04.02, 段落【0017】-【0020】、図 1-2 (ファミリーなし)	1 4-6
X A	JP 2000-121857 A (株式会社日立製作所) 2000.04.28 &US 6236784 B1	2 3

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

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

14.07.2005

国際調査報告の発送日

02.08.2005

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)

日夏 貴史

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

9411

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

文献1: JP 2004-101995 Aには、マルチモード光導波路の一方の端部に、1本の入射光導波路が光学的に接続され、他方の端部に2本以上の出射光導波路が光学的に接続された光分岐光導波路であって、入射光導波路とマルチモード光導波路の接続面において、入射光導波路からマルチモード光導波路に入射される光の強度分布が、入射光導波路の幾何学的な中心軸に対して非対称であり、かつ該入射光導波路の幾何学的な中心軸の延長線が前記マルチモード光導波路の幾何学的な中心軸と一致しないマルチモード光分岐光導波路が記載されている。したがって、請求の範囲1に係る発明は、文献1により、新規でない。

（以下、特別ページに続く。）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

1-6
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第Ⅲ欄の続き

その結果、請求の範囲 1-11 に共通する、先行技術に対して行う貢献は存在しないことになるため、請求の範囲[1,4-6]と請求の範囲[2-3][7][8][9-10][11]との間には、PCT 規則 13.2 に規定される特別な技術的特徴は存在しない。

よって、請求の範囲[1,4-6]と請求の範囲[2-3][7][8][9-10][11]との間に PCT 規則 13 の意味における技術的な関連を見い出すことはできないので、この国際出願は発明の単一性の要件を満たしていない。