

7₂ (19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2013 年 6 月 13 日 (13.06.2013)

W O I P C T

(10) 国際公開番号

W O 2013/084564 A 1

- (51) 国際特許分類 :
G02B 6/122 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 12/074501
- (22) 国際出願日 : 2012 年 9 月 25 日 (25.09.2012)
- (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 201 1-270156 201 1 年 1 月 9 日 (09.12.201 1) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- () 発明者 ; および
- () 出願人 (米国についてのみ): 奈良 一孝 (NARA, Kazutaka); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 松原 礼高 (MATSUBARA, Noritaka); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人 : 酒井 宏明, 外 (SAKAI, HiroaW et al.); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号

霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所
Tokyo (JP).

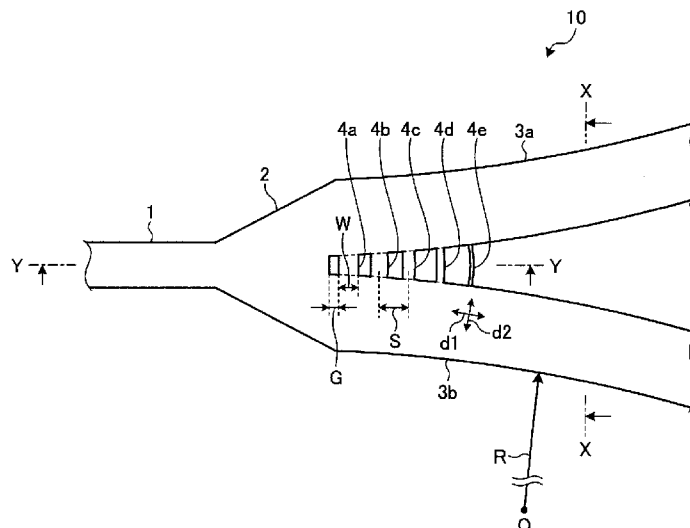
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, ML, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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), 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 (条約第 21 条 (3))

(54) Title: OPTICAL BRANCHING ELEMENT AND OPTICAL BRANCHING CIRCUIT

(54) 発明の名称 : 光分岐素子および光分岐回路



(57) Abstract: An optical branching element is provided with: an input waveguide; a tapered waveguide that is connected to the input waveguide; two branching waveguides that are connected to the tapered waveguide and arranged so as to form a "Y" shape with the input waveguide and the tapered waveguide; and a plurality of strip waveguides that connect the two branching waveguides, that are provided so as not to protrude on the exterior side of the two branching waveguides, and that are formed to have a width that decreases as the distance from the tapered waveguide increases. As a result, it is possible to provide an optical branching element and an optical branching unit capable of further decreasing loss.

(57) 要約 :

[続葉有]



2 13 4564 1

入力導波路と、前記入力導波路に接続したテーパ導波路と、前記テーパ導波路に接続し、前記入力導波路およびテーパ導波路とともにY字形状を構成するように配置された2本の分岐導波路と、前記2本の分岐導波路の間を接続し、かつ前記2本の分岐導波路の外側に突出しないように設けられ、前記テーパ導波路から離間するにつれて幅が減少するように形成された複数の帯状導波路と、を備える。これによって、より層の低損失を実現できる光分岐素子および光分岐回路を提供することができる。

明 細 書

発明の名称 : 光分岐素子および光分岐回路

技術分野

[0001] 本発明は、光導波路を用いた光分岐素子および光分岐回路に関する。

背景技術

[0002] 従来の光導波路を用いた光分岐素子において、分岐導波路に対して帯状導波路を設けることによって、光分岐素子を低損失化する技術が開示されている。たとえば、特許文献1～3では、アレイ導波路回折格子 (A r r a y e d - W a v e g u i d e G r a t i n g : A W G) のスラブ導波路からアレイ導波路までの部分に帯状導波路を設け、低損失化を行っている。また、特許文献4では、Y分岐型の光分岐素子のテーパ導波路から分岐導波路までの部分に帯状導波路を設け、低損失化を行っている。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1 : 特許第3338356号公報
特許文献2 : 特許第4385224号公報
特許文献3 : 特開2004_325865号公報
特許文献4 : 特開2006_023623号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、本願発明者らが、帯状導波路を備えるY分岐型の光分岐素子を作製し、その特性を精査したところ、設計上予測された所望の低損失化が実現できていない場合があるという問題があった。

[0005] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、より一層の低損失を実現できる光分岐素子および光分岐回路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

[0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光分岐素子

は、入力導波路と、前記入力導波路に接続したテーパ導波路と、前記テーパ導波路に接続し、前記入力導波路およびテーパ導波路とともにY字形状を構成するように配置された2本の分岐導波路と、前記2本の分岐導波路の間を接続し、かつ前記2本の分岐導波路の外側に突出しないように設けられ、前記テーパ導波路から離間するにつれて幅が減少するように形成された複数の帯状導波路と、を備えることを特徴とする。

[0007] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、前記複数の帯状導波路は所定の間隔だけ離間して設けられていることを特徴とする。

[0008] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、10本以下の前記帯状導波路を備えることを特徴とする。

[0009] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、前記複数の帯状導波路の間を埋めるように設けられ、前記テーパ導波路から離間するにつれて高さが減少するように形成された緩衝導波路をさらに備えることを特徴とする。

[001 0] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、前記テーパ導波路と前記帯状導波路との間は所定のギャップだけ離間していることを特徴とする。

[001 1] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、前記2本の分岐導波路および前記複数の帯状導波路は曲線導波路で構成されており、かつ前記各分岐導波路と前記各帯状導波路とが直交していることを特徴とする。

[001 2] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、前記2本の分岐導波路および前記複数の帯状導波路は直線導波路で構成されており、かつ前記入力導波路における光の伝搬方向と前記各帯状導波路とが直交していることを特徴とする。

[001 3] また、本発明に係る光分岐素子は、上記の発明において、石英基板上に形成されていることを特徴とする。

[0014] また、本発明に係る光分岐回路は、上記の発明に記載の光分岐素子が多段接続して構成されていることを特徴とする。

発明の効果

[001 5] 本発明によれば、より一層低損失の光分岐素子および光分岐回路を実現できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[001 6] [図1] 図1は、実施の形態1に係る光分岐素子の模式的な平面図である。

[図2] 図2は、図1に示す光分岐素子のX—X線断面図である。

[図3] 図3は、図1に示す光分岐素子のY—Y線断面図である。

[図4] 図4は、実施の形態1の変形例1に係る光分岐素子の模式的な断面図である。

[図5] 図5は、実施の形態1の変形例2に係る光分岐素子の模式的な断面図である。

[図6] 図6は、実施の形態2に係る光分岐素子の模式的な平面図である。

[図7] 図7は、帯状導波路の数が5である場合に、帯状導波路の第1幅を変えたときの、帯状導波路のステップと光分岐素子の過剰損失との関係を示す図である。

[図8] 図8は、帯状導波路の数が10である場合に、帯状導波路の第1幅を変えたときの、帯状導波路のステップと光分岐素子の過剰損失との関係を示す図である。

[図9] 図9は、帯状導波路の数が15である場合に、帯状導波路の第1幅を変えたときの、帯状導波路のステップと光分岐素子の過剰損失との関係を示す図である。

[図10] 図10は、帯状導波路の数が20である場合に、帯状導波路の第1幅を変えたときの、帯状導波路のステップと光分岐素子の過剰損失との関係を示す図である。

[図11] 図11は、実施の形態3に係る光分岐回路の模式的な平面図である。

[図12] 図12は、実施の形態4に係る光分岐回路の模式的な平面図である。

[図13] 図13は、従来の光分岐素子の模式的な平面図である。

発明を実施するための形態

[001 7] 以下に、図面を参照して本発明に係る光分岐素子および光分岐回路の実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、各図面において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。さらに、図面は模式的なものであり、各層の厚みと幅との関係、各層の比率などは、現実のものとは異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

[001 8] (実施の形態 1)

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る光分岐素子の模式的な平面図である。図 2 は、図 1 に示す光分岐素子 10 の X—X 線断面図である。図 3 は、図 1 に示す光分岐素子 10 の Y—Y 線断面図である。図 1 に示すように、光分岐素子 10 は、入力導波路 1 と、入力導波路に接続したテーパ導波路 2 と、2 本の分岐導波路 3 a、3 b と、5 本の帯状導波路 4 a ~ 4 e と、緩衝導波路 5 とを備えている。

[001 9] 入力導波路 1 は、略直線状に形成されており、紙面左側から、たとえば 1.31 μm 帯や 1.55 μm 帯の波長の光が入力される。テーパ導波路 2 は、入力導波路 1 の光出力側に接続されており、入力導波路 1 に入力された光の伝搬方向に沿って幅が広がるように形成されている。2 本の分岐導波路 3 a、3 b は、テーパ導波路 2 の光出力側に接続されており、曲線導波路で構成されている。分岐導波路 3 a、3 b は、入力導波路 1 およびテーパ導波路 2 とともに、Y 字形状を構成するように配置されている。これによつて、光分岐素子 10 は、Y 分岐素子として構成されている。

[0020] 図 2 に示すように、分岐導波路 3 a、3 b は、石英基板 11 上に形成され、かつ上部クラッド層 12 に上部および側部を囲まれるように形成されている。なお、入力導波路 1 およびテーパ導波路 2 も、石英基板 11 上に形成され、かつ上部クラッド層 12 に上部および側部を囲まれるように形成されている。石英基板 11 および上部クラッド層 12 は、純石英ガラス等の石英系ガラスからなる。入力導波路 1、テーパ導波路 2、および分岐導波路 3 a、

3 b は、石英基板 1 1 および上部クラッド層 1 2 に対する比屈折率差が 0.4 % になるようにチタン (Ti) やゲルマニウム (Ge) 等を添加して屈折率を高めた石英系ガラスからなる。入力導波路 1 および分岐導波路 3 a、3 b の断面のサイズは $7\ \mu\text{m} \times 7\ \mu\text{m}$ である。これによつて、入力導波路 1 および分岐導波路 3 a、3 b は、入力される波長 1.3 μm 帯または 1.55 μm 帯の光をシングルモードで伝搬することができる。また、分岐導波路 3 a、3 b が形成する円弧の中心 O に対する分岐導波路 3 a、3 b の曲率半径 R は、入力される光に対する曲げ損失が問題とならない程度の曲率半径とされる。たとえば、分岐導波路 3 a、3 b の比屈折率差および断面のサイズが上記の値である場合は、曲率半径は 15000 μm とすることができる。

[0021] また、テーパ導波路 2 のサイズは、厚さは入力導波路 1 と同様にたとえば 7 μm であり、幅はたとえば 7 μm から 14 μm まで幅が広がるように形成されている。

[0022] つぎに、帯状導波路 4 a ~ 4 e および緩衝導波路 5 について説明する。図 1、3 に示すように、帯状導波路 4 a ~ 4 e は、曲線導波路で構成されており、分岐導波路 3 a、3 b の間を接続し、かつ分岐導波路 3 a、3 b の外側に突出しないように設けられている。

[0023] 緩衝導波路 5 は、帯状導波路 4 a ~ 4 d の間を埋めるように設けられ、テーパ導波路 2 から離間するにつれて高さが減少するように形成されている。帯状導波路 4 a ~ 4 e および緩衝導波路 5 も、石英基板 1 1 上に形成され、かつ上部クラッド層 1 2 に上部および側部を囲まれるように形成されている。また、帯状導波路 4 a ~ 4 e および緩衝導波路 5 は、石英基板 1 1 および上部クラッド層 1 2 に対する比屈折率差が 0.4 % になるように Ti や Ge 等を添加して屈折率を高めた石英系ガラスからなる。

[0024] 帯状導波路 4 a ~ 4 e についてさらに説明する。テーパ導波路 2 と、テーパ導波路 2 に最も近い帯状導波路 4 a との間はギャップ G だけ離間している。ギャップ G はたとえば 1.5 μm である。以下、テーパ導波路 2 に最も近い帯状導波路 4 a の幅を第 1 幅 W とする。また、各帯状導波路 4 a ~ 4 e は

、たとえば $22\ \mu\text{m}$ である所定の間隔（ステップ S ）だけ離間して設けられており、かつテーパ導波路 2 から離間するにつれて幅が減少するように形成されている。たとえば、帯状導波路 4 a の第 1 幅 W を $14\ \mu\text{m}$ とすると、各帯状導波路 4 b、4 c、4 d、4 e の幅は、約 $10.6\ \mu\text{m}$ 、 $7.2\ \mu\text{m}$ 、 $3.8\ \mu\text{m}$ 、 $0.5\ \mu\text{m}$ であり、幅が略線形に減少するように形成されている。また、テーパ導波路 2 と帯状導波路 4 a との間における緩衝導波路 5 の高さは $3.5\ \mu\text{m}$ であるため、テーパ導波路 2 と帯状導波路 4 a との間のギャップの深さは $3.5\ \mu\text{m}$ となっている。また、ギャップの深さは、帯状導波路 4 a、4 b 間、帯状導波路 4 b、4 c 間、帯状導波路 4 c、4 d 間で、それぞれ $4.8\ \mu\text{m}$ 、 $6.0\ \mu\text{m}$ 、 $6.5\ \mu\text{m}$ となっている。

[0025] また、各分岐導波路 3 a、3 b と、各帯状導波路 4 a ~ 4 e とは直交している。ここで、たとえば分岐導波路 3 b と帯状導波路 4 e が直交しているとは、分岐導波路 3 b が形成する円弧の接線方向 d_1 と、帯状導波路 4 e が形成する円弧の接線方向 d_2 とが、互いの接続部において直交することを意味する。

[0026] なお、この光分岐素子 10 は、たとえば、以下の石英系 PLC (Planar Lightwave Circuit) 作製プロセスを用いて作製することができる。まず、火炎堆積 (Flame Hydrolysis Deposition: FHD) 法により、石英基板 11 上に、各光導波路を形成するための Ti や Ge を添加した石英系ガラス層を堆積し、これを透明ガラス化する。つぎに、形成する光導波路のパターンが描かれたフォトマスクを用いて、反応性イオンエッチングを用いたフォトリソグラフィ、反応性イオンエッチング法によって、石英系ガラス層を各光導波路の 1/4 ターンになるように加工する。なお、高さが異なる緩衝導波路 5 は、反応性イオンエッチングやフォトリソグラフィの条件の調整によって形成することができる。

[0027] その後、再び FHD 法により、上部クラッド層 12 を形成するための石英系ガラスを堆積し、これを透明ガラス化して上部クラッド層 12 を形成する。これによつて、光分岐素子 10 を製造することができる。

[0028] この光分岐素子 10 の入力導波路 1 から光を入力すると、入力導波路 1 は光をシングルモードで導波し、テーパ導波路 2 に入力する。テーパ導波路 2 は、入力された光を分岐導波路 3 a、3 b にシングルモードで入力させるようにモード変換する。分岐導波路 3 a、3 b は、モード変換された光をそれぞれシングルモードで導波する。

[0029] このとき、帯状導波路 4 a ~ 4 e は、テーパ導波路 2 と分岐導波路 3 a、3 b との間で光の一部が十分に結合できずに放射モード光として漏れることを抑制し、結合効率を高める効果を有する。その結果、光分岐素子 10 の光損失が低減される。また、各帯状導波路 4 a ~ 4 e が、テーパ導波路 2 から離間するにつれて幅が減少するように形成されているので、テーパ導波路 2 から分岐導波路 3 a、3 b へのモード変換がスムーズに行われ、さらに光損失が低減される。さらには、緩衝導波路 5 が、テーパ導波路 2 から離間するにつれて高さが減少するように形成されているので、各帯状導波路 4 a ~ 4 e が完全に離散化されていない。そのため、モード変換がさらにスムーズに行われるので、より一層光損失が低減される。

[0030] また、各分岐導波路 3 a、3 b と、各帯状導波路 4 a ~ 4 e とが直交しているので、互いの結合部でのクロストークによる光損失を抑制することができる。

[0031] また、テーパ導波路 2 と、帯状導波路 4 a との間がギャップ G だけ離間している所以、上部クラッド層 12 を形成するための工程において、テーパ導波路 2 の近傍で分岐導波路 3 a、3 b が互いに倒れ込むようにできる。これによつて分岐光導波 3 a、3 b 間の間隔を狭めることができるので、テーパ導波路 2 から出力される光を、より効率よく分岐導波路 3 a、3 b に結合することができる。

[0032] ここで、光分岐素子 10 では、帯状導波路 4 a ~ 4 e は、分岐導波路 3 a、3 b の外側に突出しないように設けられている。これによつて、より一層光損失が低減される。

[0033] 以下、具体的に説明する。図 13 は、従来の光分岐素子の模式的な平面図

である。図 13 に示す光分岐素子 40 は、入力導波路 41 と、入力導波路 41 に接続したテーパ導波路 42 と、2 本の分岐導波路 43 a、43 b と、30 本の帯状導波路 44 a ~ 44 δ とを備えている。光分岐素子 40 は、帯状導波路 44 a ~ 44 δ が各分岐導波路 43 a、43 b の外側に突出している点で、光分岐素子 10 とは大きく異なる。

[0034] このように、帯状導波路 44 a ~ 44 δ が、各分岐導波路 43 a、43 b の外側まで突出している場合、その突出部は先端が固定されていないため、突出部に対応する導波路パターンが、上部クラッド層 12 を形成するための工程において、互いに倒れ込むことによって大きく変形する場合がある。この変形によって、各分岐導波路 43 a、43 b の側部も変形するため、導波路パターンの設計通りの低損失化が実現されない場合がある。

[0035] ここで、特許文献 1 ~ 3 のようにスラブ導波路を用いた光分岐素子の場合には、スラブ導波路は幅方向には光を閉じ込めない構造のため、スラブ導波路における光のパワー分布は、幅方向中央付近で特にパワーが高く、側部ではパワーが低い分布形状となる。そのため、突出部によってスラブ導波路近傍の分岐導波路の側部が変形したとしても、光損失に与える影響は小さい。

[0036] しかしながら、Y 分岐型の光分岐素子の場合には、テーパ導波路は幅方向に光を閉じ込めて導波するため、光のパワー分布は、側部でもパワーが高い分布形状となる。そのため、突出部によってテーパ導波路近傍の分岐導波路の側部が変形した場合は、光損失に与える影響が大きくなる。

[0037] これに対して、本実施の形態 1 に係る光分岐素子 10 では、帯状導波路 4a ~ 4e は、分岐導波路 3 a、3 b の外側に突出しないように設けられている。これによつて、上記のような各変形は発生しないため、設計値により近し、より一層の光損失の低減が実現される。

[0038] 以上説明したように、本実施の形態 1 に係る光分岐素子 10 は、より一層光損失が低減されたものとなる。

[0039] (変形例 1)

つぎに、実施の形態 1 の変形例について説明する。図 4 は、実施の形態 1

の変形例 1 に係る光分岐素子の模式的な断面図である。図 4 に示す光分岐素子 10A は、図 1 に示す光分岐素子 10 において、5 本の帯状導波路 4a ~ 4e と緩衝導波路 5 に換えて、10 本の帯状導波路 6a ~ 6j と緩衝導波路 5A とを備えている。

[0040] 帯状導波路 6a ~ 6j は、分岐導波路 3a、3b の間を接続し、かつ分岐導波路 3a、3b の外側に突出しないように設けられている。

[0041] 緩衝導波路 5A は、帯状導波路 6a ~ 6g の間を埋めるように設けられ、テーパ導波路 2 から離間するにつれて高さが減少するように形成されている。

[0042] テーパ導波路 2 と、テーパ導波路 2 に最も近い帯状導波路 6a との間はたとえば 1.5 μm のギャップだけ離間している。また、各帯状導波路 6a ~ 6j は、たとえば 22 μm のステップだけ離間して設けられており、かつテーパ導波路 2 から離間するにつれて幅が減少するように形成されている。たとえば、帯状導波路 6a の第 1 幅を 14 μm とすると、各帯状導波路 6b、6c、6d、6e、6f、6g、6h、6i、6j の幅は、約 12.5 μm 、11.0 μm 、9.5 μm 、8.0 μm 、6.5 μm 、5.0 μm 、3.5 μm 、2.0 μm 、0.5 μm であり、幅が略線形に減少するように形成されている。また、帯状導波路 6a ~ 6j の高さは 7 μm であり、テーパ導波路 2 と帯状導波路 6a との間における緩衝導波路 5A の高さは 3.5 μm であるため、テーパ導波路 2 と帯状導波路 6a との間のギャップの深さは 3.5 μm となっている。また、ギャップの深さは、帯状導波路 6a、6b 間、帯状導波路 6b、6c 間、帯状導波路 6c、6d 間、帯状導波路 6d、6e 間、帯状導波路 6e、6f 間、帯状導波路 6f、6g 間で、それぞれ 4.2 μm 、5.0 μm 、5.7 μm 、6.5 μm 、6.8 μm 、6.9 μm となっている。

[0043] 本変形例 1 に係る光分岐素子 10A も、帯状導波路 6a ~ 6j が分岐導波路 3a、3b の外側に突出しないため、光損失がより一層低減されたものとなる。

[0044] (変形例 2)

図 5 は、実施の形態 1 の変形例 2 に係る光分岐素子の模式的な断面図である。図 5 に示す光分岐素子 10B は、図 1 に示す光分岐素子 10 において、緩衝導波路 5 を削除した構成を有する。

[0045] この光分岐素子 10B においても、帯状導波路 4a ~ 4e が分岐導波路 3a、3b の外側に突出しないため、光損失がより一層低減されたものとなる。

[0046] (実施の形態 2)

つぎに、本発明の実施の形態 2 について説明する。図 6 は、実施の形態 2 に係る光分岐素子の模式的な平面図である。図 6 に示すように、光分岐素子 20 は、図 1 に示す光分岐素子 10 において、2 本の分岐導波路 3a、3b と 5 本の帯状導波路 4a ~ 4e とに換えて、2 本の分岐導波路 8a、8b と 5 本の帯状導波路 9a ~ 9e とを備えている。

[0047] 2 本の分岐導波路 8a、8b は、テーパ導波路 2 の光出力側に接続されており、直線導波路で構成されている。分岐導波路 8a、8b は、入力導波路 1 およびテーパ導波路 2 とともに、Y 字形状を構成するように配置されている。これによつて、光分岐素子 20 は、Y 分岐素子として構成されている。この分岐導波路 8a、8b も、石英基板上に形成され、かつ上部クラッド層に上部および側部を囲まれるように形成されている。また、分岐導波路 8a、8b は、石英基板および上部クラッド層に対する比屈折率差が 0.4 % になるように屈折率を高めた石英系ガラスからなる。分岐導波路 8a、8b の断面のサイズは $7\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$ である。

[0048] また、帯状導波路 9a ~ 9e は、直線導波路で構成されており、分岐導波路 8a、8b の間を接続し、かつ分岐導波路 8a、8b の外側に突出しないように設けられている。帯状導波路 9a ~ 9e も、石英基板上に形成され、かつ上部クラッド層に上部および側部を囲まれるように形成されており、石英基板および上部クラッド層に対する比屈折率差が 0.4 % になるように屈折率を高めた石英系ガラスからなる。

- [0049] また、テーパ導波路 2 と、テーパ導波路 2 に最も近い帯状導波路 9 a との間のギャップ、ならびに、各帯状導波路 9 a ~ 9 e の間のステップおよび各帯状導波路 9 a ~ 9 e の幅は、帯状導波路 4 a ~ 4 e と同様に設定されている。
- [0050] また、入力導波路 1 における光の伝搬方向 d 3 と各帯状導波路 9 a ~ 9 e の長手方向 d 4 とは直交している。これによつて、交差による損失を最小限にすることができ、結合効率を高める効果が最大限に発揮される。
- [0051] この光分岐素子 20 においても、帯状導波路 9 a ~ 9 e が分岐導波路 8 a、8 b の外側に突出しないため、光損失がより一層低減されたものとなる。
- [0052] つぎに、帯状導波路の好適な数について説明する。図 7 ~ 図 10 は、帯状導波路の数がそれぞれ 5、10、15、20 である場合に、帯状導波路の第 1 幅を変えたときの、帯状導波路のステップと光分岐素子の過剰損失との関係を示す図である。なお、図 7 ~ 図 10 における光分岐素子の形状は、実施の形態 1 に係る光分岐素子 10 の形状を基本とし、帯状導波路の数を 10、15、20 に変更したものである。帯状導波路の数や第 1 幅を変更した場合は、テーパ導波路から最も遠い帯状導波路の幅は $0.5 \mu\text{m}$ に固定し、各帯状導波路の幅を、テーパ導波路から離れるに従って帯状導波路の幅が略線形に減少するように設定した。また、図中、N は帯状導波路の数を示し、凡例における $l_{\eta i_w}$ とは、帯状導波路の第 1 幅を示している。
- [0053] 図 7、8 に示すように、N が 5、10 の場合は、過剰損失が最小付近になる最適化領域 S 1、S 2 の範囲が広い。そのため、たとえばステップに製造上の誤差等に対するトレランスが大きくなるので、量産に適する光分岐素子となる。
- [0054] 一方、図 9、10 に示すように、N が 15、20 の場合は、過剰損失が最小付近になる最適化領域が狭くなるので、誤差等に対するトレランスは小さくなる。したがって、帯状導波路の数としては 10 以下が好ましい。また、帯状導波路の数の下限については、2 以上であれば結合効率を高める効果があり、5 以上であれば結合効率を高める効果が大きくなり、より好ましい。

[0055] (実施の形態3)

つぎに、本発明の実施の形態3に係る光分岐回路について説明する。図11は、実施の形態3に係る光分岐回路の模式的な平面図である。図11に示すように、この光分岐回路100は、実施の形態1に係る7個の光分岐素子10がツリー状に多段接続され、 1×8 の光分岐回路を形成している。なお、8ポート側の4個の光分岐素子10の出力側には、それぞれ出力導波路30が接続している。

[0056] この光分岐回路100は、実施の形態1に係る光分岐素子10を備えているので、より一層光損失が低減された光分岐回路である。

[0057] (実施の形態4)

つぎに、本発明の実施の形態4に係る光分岐回路について説明する。図12は、実施の形態4に係る光分岐回路の模式的な平面図である。図12に示すように、この光分岐回路200は、実施の形態1に係る31個の光分岐素子10がツリー状に多段接続され、 1×32 の光分岐回路を形成している。なお、32ポート側の16個の光分岐素子10の出力側には、それぞれ出力導波路30が接続している。

[0058] この光分岐回路200も、実施の形態1に係る光分岐素子10を備えているので、より一層光損失が低減された光分岐回路である。

[0059] (実施例1、比較例1)

本発明の実施例1として、図1に示す構成の光分岐素子を用いた図11に示す構成の 1×8 の光分岐回路を、上述したPLC作製プロセスを用いて作製した。なお、帯状導波路の第1幅は $14 \mu\text{m}$ 、ステップは $22 \mu\text{m}$ 、数は5本、テーパ導波路と帯状導波路とのギャップは $1.5 \mu\text{m}$ とした。また、各導波路の特性は実施の形態1で例示した値とした。すなわち、たとえば分岐導波路については、断面のサイズは $7 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$ とし、石英基板および上部クラッド層に対する比屈折率差を 0.4% とした。

[0060] 一方、比較例1として、図13に示す構成の光分岐素子を用いた図11に示す構成の 1×8 の光分岐回路を作製した。帯状導波路の第1幅は $8 \mu\text{m}$ 、

ステップは $20\ \mu\text{m}$ 、数は 30 本、テーパ導波路と帯状導波路とのギャップは $1.5\ \mu\text{m}$ とした。テーパ導波路から最も遠い帯状導波路の幅を $0.5\ \mu\text{m}$ とし、テーパ導波路から離れるに従って帯状導波路の幅が略線形に減少するように各帯状導波路の幅を設定した。また、帯状導波路が各分岐導波路の外側に突出している長さは $100\ \mu\text{m}$ 程度とした。

[0061] 作製した実施例 1 および比較例 1 の光分岐回路の 8 個のポートの挿入損失の平均損失を、 $1.31\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の波長で測定した。すると、比較例 1 では、平均損失は $9.85\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $9.81\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$) だった。これに対して、実施例 1 では、平均損失は $9.64\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $9.63\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$) と、比較例 1 と比べて低損失であった。

[0062] (実施例 2)

本発明の実施例 2 として、図 4 に示す構成の光分岐素子を用いた図 11 に示す構成の 1×8 の光分岐回路を作製した。なお、帯状導波路の第 1 幅は $8\ \mu\text{m}$ 、ステップは $14\ \mu\text{m}$ 、数は 10 本、テーパ導波路と帯状導波路とのギャップは $1.5\ \mu\text{m}$ とした。また、各導波路の特性は変形例 1 で例示した値とした。

[0063] 作製した実施例 2 の光分岐回路の 8 個のポートの挿入損失の平均損失を、 $1.31\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の波長で測定した。すると、平均損失は $9.73\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $9.68\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$) と、比較例 1 と比べて低損失であった。

[0064] (実施例 3、比較例 2)

本発明の実施例 3 として、実施例 1 と同様の光分岐素子を用いた図 12 に示す構成の 1×32 の光分岐回路を、上述した PLC 作製プロセスを用いて作製した。

[0065] 一方、比較例 2 として、比較例 1 と同様の光分岐素子を用いた図 12 に示す構成の 1×32 の光分岐回路を作製した。

[0066] 作製した実施例 3 および比較例 2 の光分岐回路の 32 個のポートの挿入損

失の平均損失を、 $1.31\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の波長で測定した。すると、比較例2では、平均損失は $16.46\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $16.39\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$)だった。これに対して、実施例3では、平均損失は $16.06\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $16.02\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$)と、比較例2と比べて低損失であった。

[0067] (実施例4)

本発明の実施例4として、図6に示す構成の、分岐導波路が直線導波路で構成された光分岐素子を用いた図11に示す構成の 1×8 の光分岐回路を作製した。なお、帯状導波路の第1幅は $1.4\ \mu\text{m}$ 、ステップは $2.2\ \mu\text{m}$ 、数は5本、テーパ導波路と帯状導波路とのギャップは $1.5\ \mu\text{m}$ とした。また、各導波路の特性は実施の形態2で例示した値とした。

[0068] 作製した実施例4の光分岐回路の8個のポートの挿入損失の平均損失を、 $1.31\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の波長で測定した。すると、平均損失は $9.66\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $9.65\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$)と、比較例1と比べて低損失であった。

[0069] (実施例5)

本発明の実施例5として、図5に示す構成の光分岐素子を用いた図11に示す構成の 1×8 の光分岐回路を作製した。なお、帯状導波路の第1幅は $1.4\ \mu\text{m}$ 、ステップは $2.4\ \mu\text{m}$ 、数は5本、テーパ導波路と帯状導波路とのギャップは $1.5\ \mu\text{m}$ とした。また、各導波路の特性は変形例2で例示した値とした。

[0070] 作製した実施例5の光分岐回路の8個のポートの挿入損失の平均損失を、 $1.31\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の波長で測定した。すると、平均損失は $9.70\ \text{dB}$ ($@1.31\ \mu\text{m}$)、 $9.65\ \text{dB}$ ($@1.55\ \mu\text{m}$)と、比較例1と比べて低損失であった。

[0071] なお、上記実施の形態および実施例では、光分岐素子および光分岐回路は石英系ガラスからなるが、他のガラス材料や有機材料を適宜使用できる。また、その作製方法も、PLCプロセスに限定されず、導波路からなる光分岐

素子および光分岐回路を作製できる各種作製方法を使用できる。また、上記実施の形態および実施例に記載された各導波路の断面のサイズ、幅、比屈折率差等の特性の数値は例示であって、光分岐素子および光分岐回路の構成材料や、所望の特性に応じて適宜設定することができる。

[0072] また、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせて構成したものも本発明に含まれる。たとえば、実施の形態 2 において、実施の形態 1 のように緩衝導波路を備えるようにしてもよい。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0073] 以上のように、本発明に係る光分岐素子および光分岐回路は光通信の分野に利用して好適なものである。

符号の説明

[0074] 1 入力導波路
 2 テーパー導波路
 3 a、3 b、8 a、8 b 分岐導波路
 4 a、4 b、4 c、4 d、4 e、6 a、6 b、6 c、6 d、6 e、6 f、
6 g、6 h、6 i、6 j、9 a、9 b、9 c、9 d、9 e 帯状導波路
 5、5 A 緩衝導波路
 10、10 A、10 B、20 光分岐素子
 11 石英基板
 12 上部クラッド層
 30 出力導波路
 100、200 光分岐回路
 d 1、d 2 方向
 d 3 伝搬方向
 d 4 長手方向

G ギャップ

O 中心

R 曲率半径

S ステップ

S 1、S 2 最適化領域

W 第 1 幅

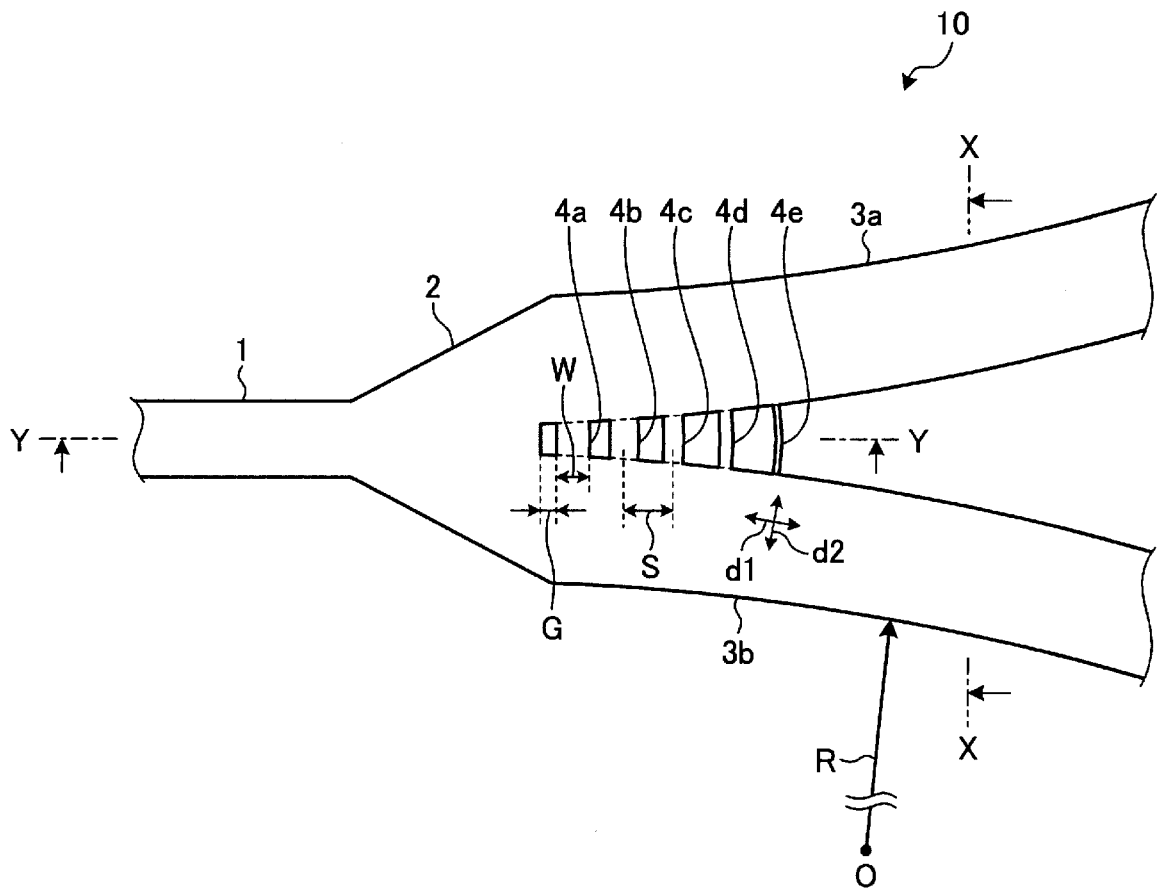
請求の範囲

- [請求項1] 入力導波路と、
- 前記入力導波路に接続したテーパ導波路と、
- 前記テーパ導波路に接続し、前記入力導波路およびテーパ導波路とともにY字形状を構成するように配置された2本の分岐導波路と、
- 前記2本の分岐導波路の間を接続し、かつ前記2本の分岐導波路の外側に突出しないように設けられ、前記テーパ導波路から離間するにつれて幅が減少するように形成された複数の帯状導波路と、
- を備えることを特徴とする光分岐素子。
- [請求項2] 前記複数の帯状導波路は所定の間隔だけ離間して設けられていることを特徴とする請求項1に記載の光分岐素子。
- [請求項3] 10本以下の前記帯状導波路を備えることを特徴とする請求項1または2に記載の光分岐素子。
- [請求項4] 前記複数の帯状導波路の間を埋めるように設けられ、前記テーパ導波路から離間するにつれて高さが減少するように形成された緩衝導波路をさらに備えることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の光分岐素子。
- [請求項5] 前記テーパ導波路と前記帯状導波路との間は所定のギャップだけ離間していることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の光分岐素子。
- [請求項6] 前記2本の分岐導波路および前記複数の帯状導波路は曲線導波路で構成されており、かつ前記各分岐導波路と前記各帯状導波路とが直交していることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の光分岐素子。
- [請求項7] 前記2本の分岐導波路および前記複数の帯状導波路は直線導波路で構成されており、かつ前記入力導波路における光の伝搬方向と前記各帯状導波路とが直交していることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の光分岐素子。

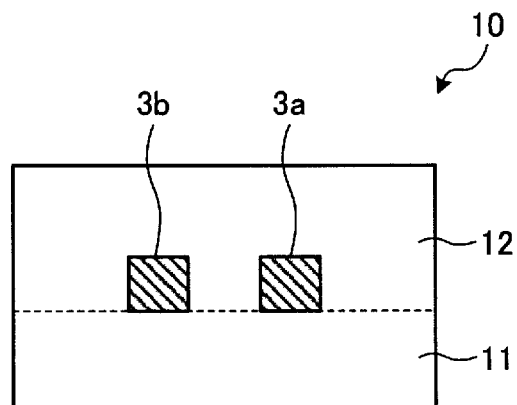
[請求項8] 石英基板上に形成されていることを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の光分岐素子。

[請求項9] 請求項1～8のいずれか一つに記載の光分岐素子が多段接続して構成されていることを特徴とする光分岐回路。

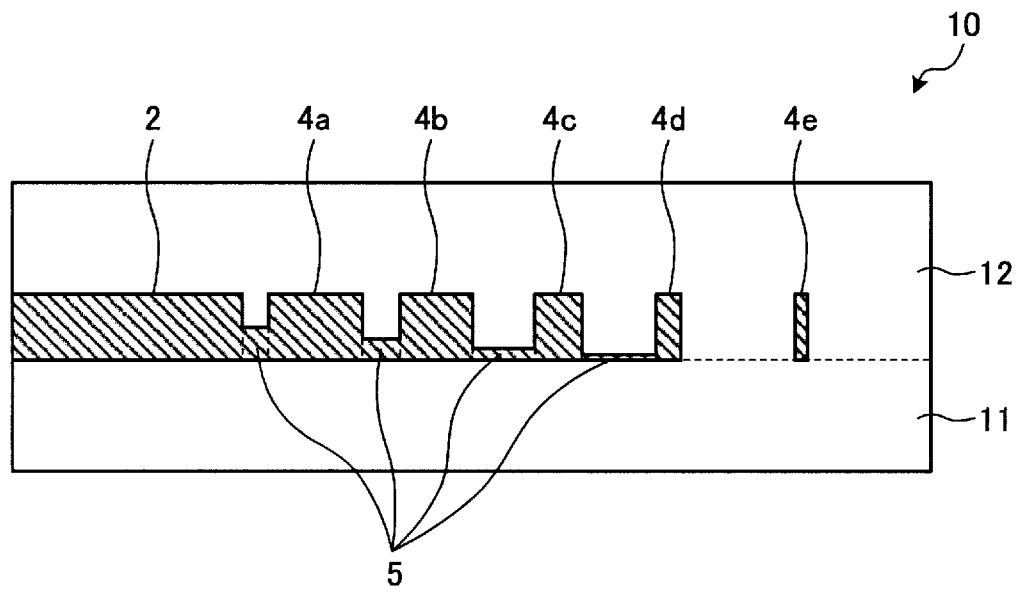
[図1]



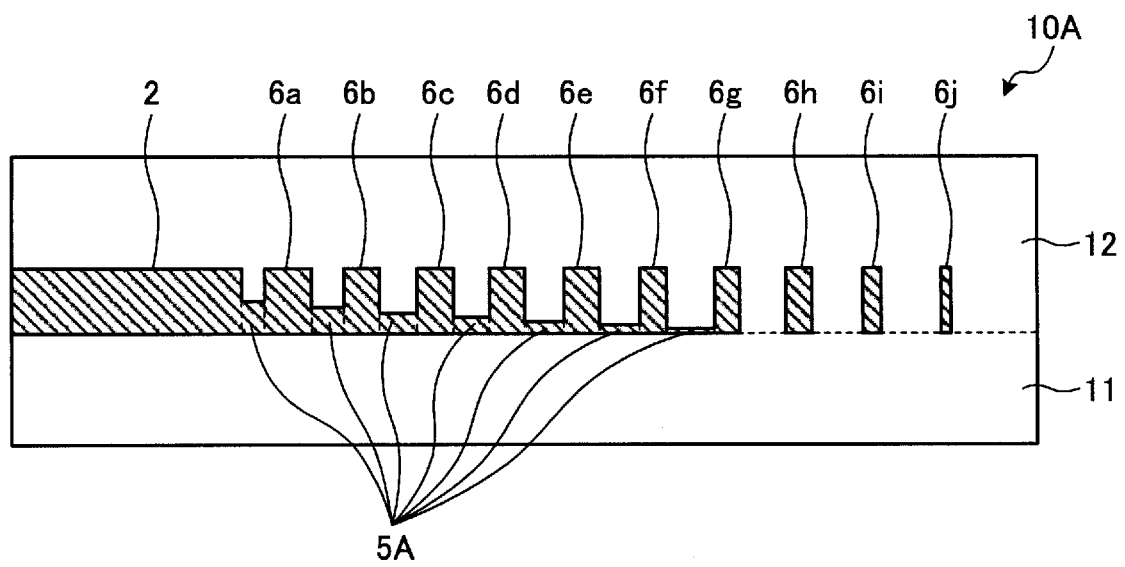
[図2]



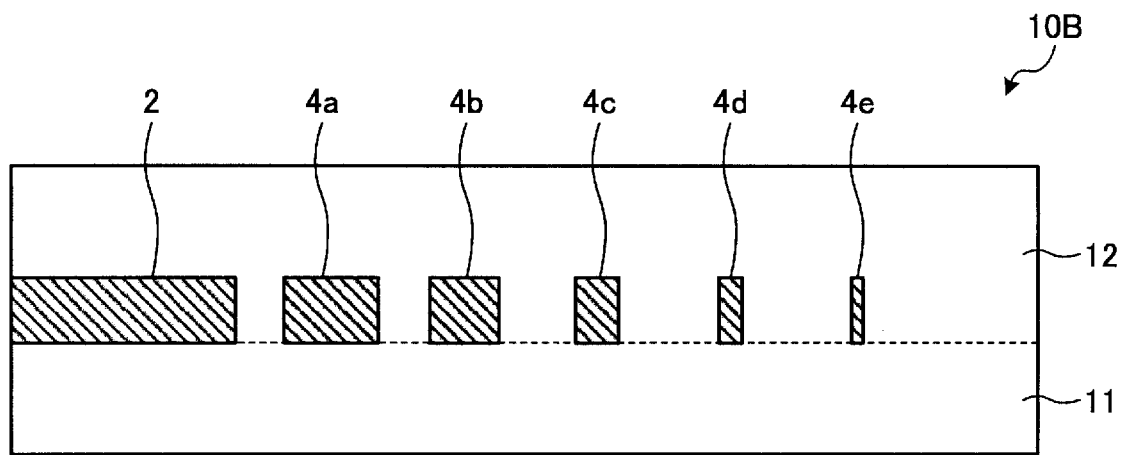
[図3]



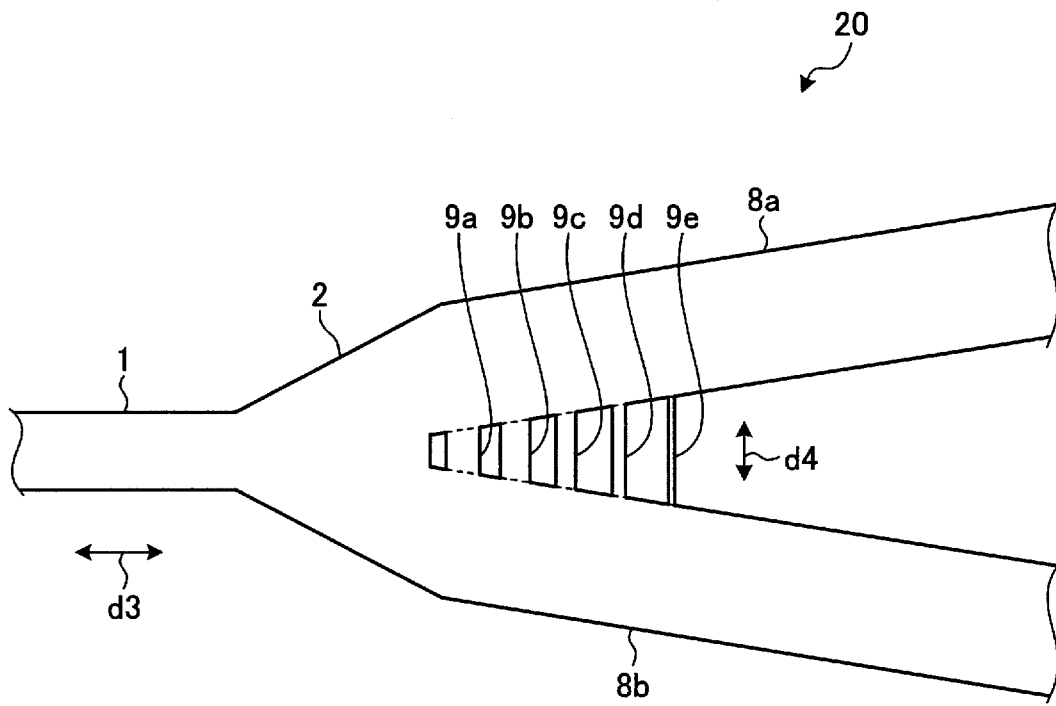
[図4]



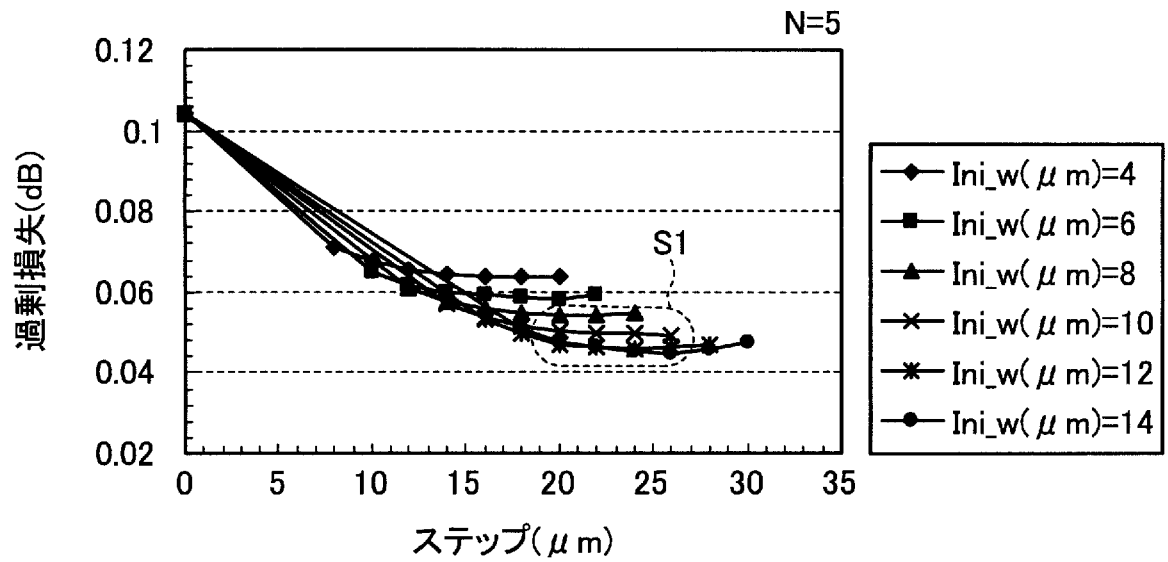
[図5]



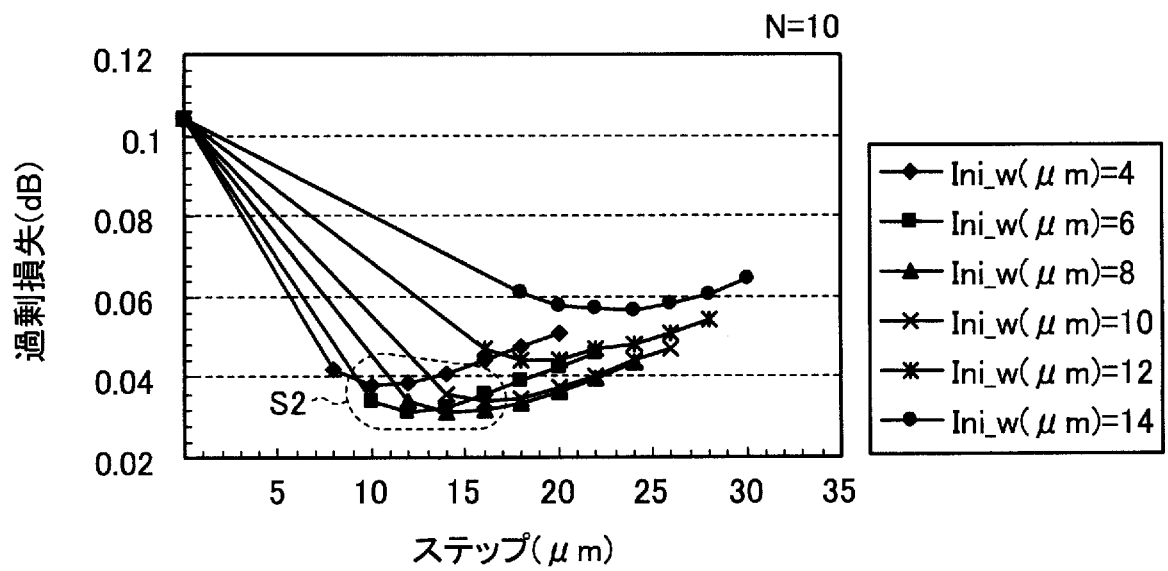
[図6]



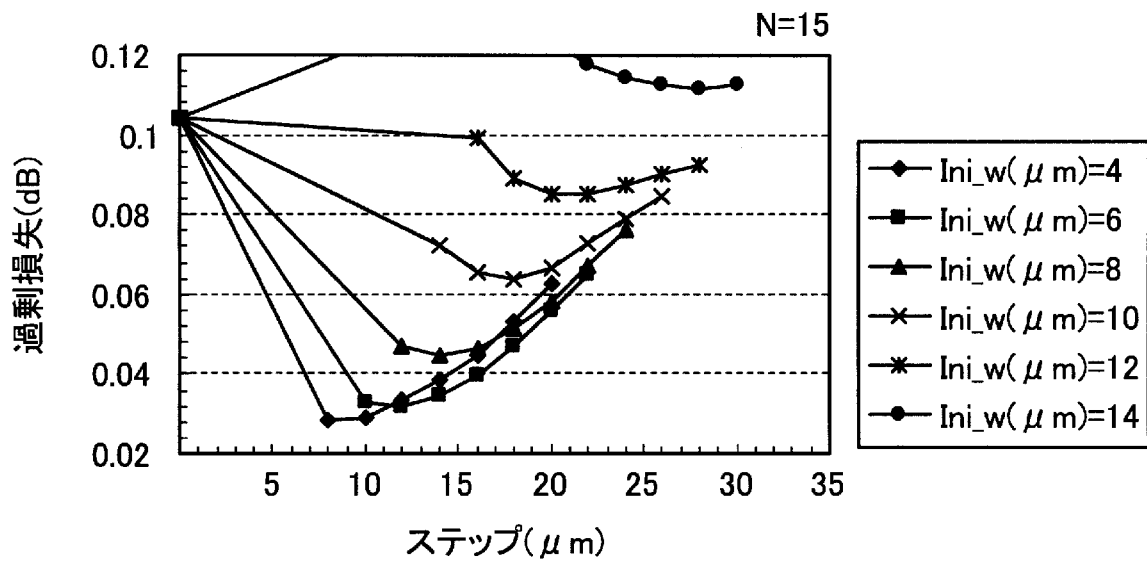
[図7]



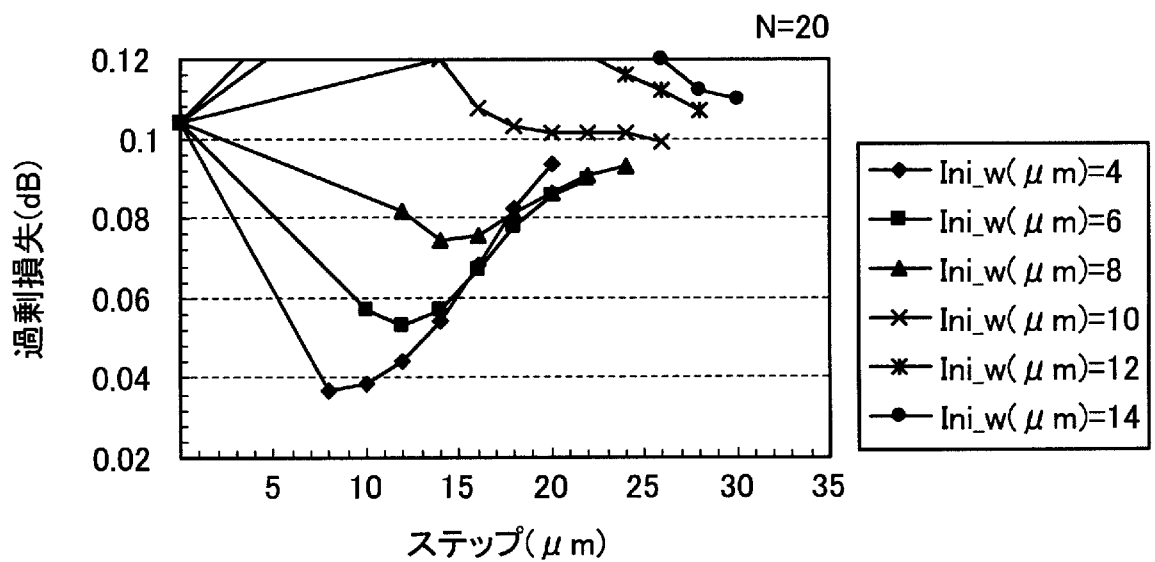
[図8]



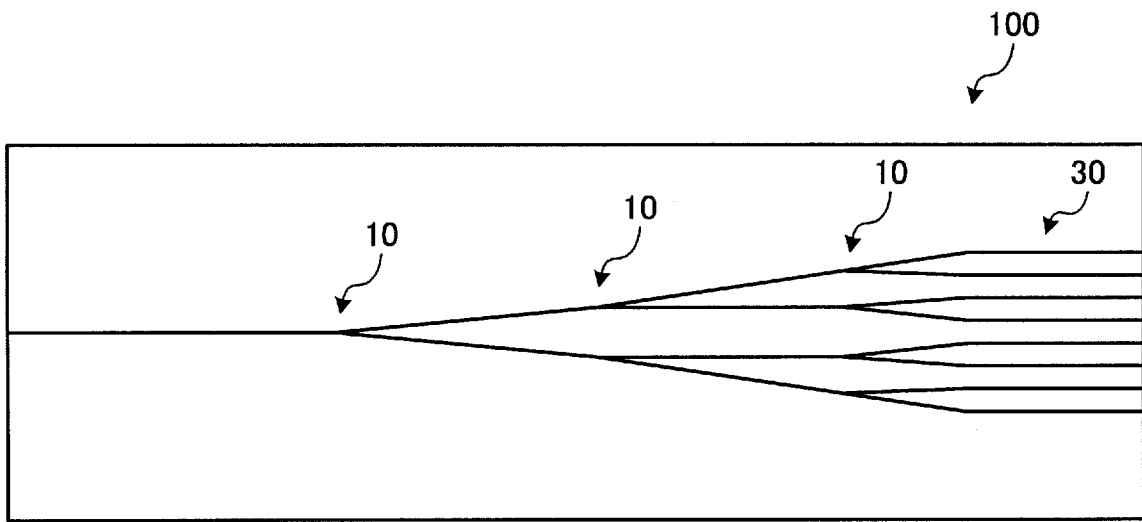
[図9]



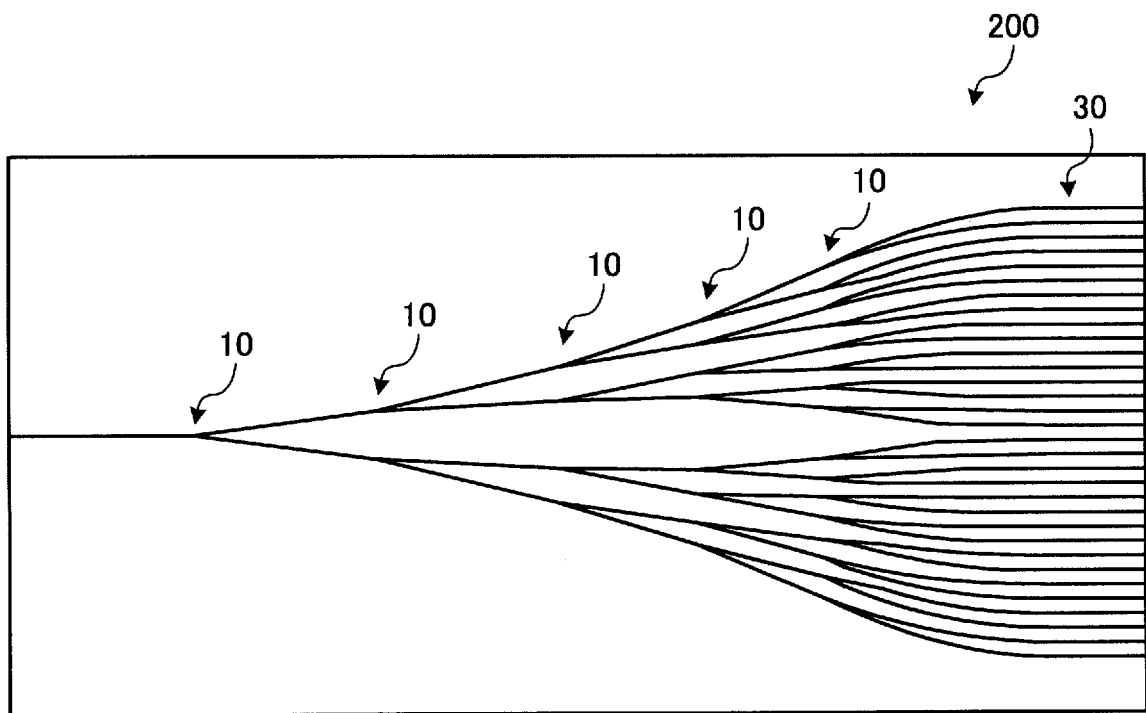
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/074501

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/122 (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)

G02B6/12-6/14

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	1996-2012
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2012	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2012

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

CiNi i , IEEE Xpl ore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	J. Garnet et al., Ultralow—Loss 1×8 Splitter Based on Field Matching, Photonics Technology Letters, 2004.09, Vol. 16, No. 9, pages 2060-2062	1-9
Y	JP 2006-023623 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 26 January 2006 (26.01.2006), paragraphs [0003], [0004], [0014] to [0021]; fig. 1 (Family: none)	1-9
Y	JP 3338356 B2 (Lucent Technologies Inc.), 09 August 2002 (09.08.2002), paragraphs [0019], [0020]; fig. 5, 8 & US 5745618 A & EP 856755 A1	1-9



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

"I" 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
19 October, 2012 (19.10.12)Date of mailing of the international search report
06 November, 2012 (06.11.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/074501

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	M.H.Hu et al., A Low-Loss and Compact Waveguide Y-Branch Using Refractive-Index Tapering, Photonics Technology Letters, 1997.02, Vol. 9, No. 2, pages 203-205	4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B6/122 (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 (I P C))

Int.Cl. G02B6/12- 6/14

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

日本国実用新案公報	1 9 2 2 -
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 -
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2

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)

CiNii, 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
Y	J. Garnet et al. , Ultralow-Loss 1X8 Splitter Based on Field Matching, Photonics Technology Letters, 2004. 09, Vol. 16, No. 9, pages 2060-2062	1-9
Y	JP 2006-023623 A (古河電気工業株式会社) 2006. 01. 26, 段落 D003】 , D004】 , D014】 - D021】 , 図 1】 (フアミリーなし)	1-9

☒ 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

IA」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

IE」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

「」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)

Iθ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

IP」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

「」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

「」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

IY」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

I&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 9 . 1 0 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 1 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

大石 敏弘

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

2 X

3 9 1 3

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 3338356 B2 (ルーセント テクノロジーズ インコーポレイテッド) 2002-08-09, 段落 【0019】 , 【0020】 , 【図 5】 , 【図 8】 & US 5745618 A & EP 856755 A1	1-9
Y	M. H. riu et al., A Low-Loss ana' Compact Waveguide Y-Branch Using Refractive-Index Tapering, Photonics Technology Letters, 1997. 02, Vol. 9, No. 2, pages 203—205	4