

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4113236号
(P4113236)

(45) 発行日 平成20年7月9日(2008.7.9)

(24) 登録日 平成20年4月18日(2008.4.18)

(51) Int. Cl. F 1
G 0 2 B 6/12 (2006.01) G 0 2 B 6/12 D
G 0 2 B 6/30 (2006.01) G 0 2 B 6/30

請求項の数 3 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2006-523769 (P2006-523769)	(73) 特許権者	000004226
(86) (22) 出願日	平成17年7月1日(2005.7.1)		日本電信電話株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/012186		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(87) 国際公開番号	W02006/004031	(74) 代理人	100077481
(87) 国際公開日	平成18年1月12日(2006.1.12)		弁理士 谷 義一
審査請求日	平成18年2月10日(2006.2.10)	(74) 代理人	100088915
(31) 優先権主張番号	特願2004-197313 (P2004-197313)		弁理士 阿部 和夫
(32) 優先日	平成16年7月2日(2004.7.2)	(72) 発明者	鬼頭 勤
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
(31) 優先権主張番号	特願2004-317092 (P2004-317092)		本電信電話株式会社内
(32) 優先日	平成16年10月29日(2004.10.29)	(72) 発明者	坂巻 陽平
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
特許法第30条第1項適用 2005年3月21日(月) ~ 24日(木) 大阪大学において開催された2005年電子情報通信学会総合大会で発表			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光機能回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に、クラッド層と、該クラッド層に埋設された前記クラッド層より高い屈折率を有するコア層とからなる光の導波領域が設けられた光機能回路において、

前記光の伝搬方向に垂直な断面において、前記光のフィールドの断面が与えられるべき回路上の場所をポートとし、任意の1個のポートから入射された入力光が、所定のポートから出力光として出射されるように、前記コア層に空間的な屈折率分布が形成された第1の波動伝達媒体を備え、

前記第1の波動伝達媒体の前記所定のポートから出射されない漏洩光が、他の回路要素と結合しないように、入力光として入力ポートから入射された前記漏洩光が、光路を変換されて、出力ポートから出力光として出射されるように、前記コア層に空間的な屈折率分布が形成された第2の波動伝達媒体を備え、

前記空間的な屈折率分布は、前記第1の波動伝達媒体の前記入力光が、前記任意の1個のポートから前記光の伝搬方向に沿って伝搬すると、前記入力光の入力フィールドが、前記出力光の出力フィールドに変換されて、前記所定のポートから出力される1つ以上の入出力フィールドの組の各々を伝搬するように、および前記第2の波動伝達媒体の前記入力光が、前記入力ポートから前記光の伝搬方向に沿って伝搬すると、前記入力光の入力フィールドが、前記出力光の出力フィールドに変換されて、前記出力ポートから出力される1つ以上の入出力フィールドの組の各々を伝搬するように、メッシュにより画定されるピクセルの各々のコアが有する屈折率によって決定され、

各々の前記ピクセルのコアの屈折率は、前記任意の1個のポートまたは前記入力ポートから前記所定のポートまたは前記出力ポートまでの光の伝搬方向の座標 z 、前記光の導波領域において前記光の伝搬方向に垂直な方向の座標 x としたときの断面 X の場所 (z, x) において、前記入力フィールドの順伝搬のフィールドの位相と、前記出力フィールドの位相共役に逆伝搬させたフィールドの位相との間の位相差が所定の誤差以下となるように、各々の前記ピクセルのコアの屈折率を変数として繰り返し計算を行うことにより決定され、この計算は、 $(q - 1)$ 番目の計算によって得られた屈折率分布 $\{n_{q-1}\}$ をもとに、前記入出力フィールドの組の j 番目の入力フィールド $E_j(x)$ および出力フィールド $H_j(x)$ について、前記順伝搬フィールド $E_j(z, x, \{n_{q-1}\})$ と前記逆伝搬のフィールド $H_j(z, x, \{n_{q-1}\})$ としたとき、各場所 (z, x) における屈折率 $n_q(z, x)$ を、

$$n_q(z, x) = n_{q-1}(z, x) - \sum_j \text{Im} [E_j(z, x, \{n_{q-1}\})^* \cdot H_j(z, x, \{n_{q-1}\})]$$

として計算し、ここで、記号「 $*$ 」は複素共役であり、記号「 \cdot 」は内積演算であり、 $\text{Im} []$ は $[]$ 内のフィールド内積演算結果の虚数成分であり、 \sum は計算の収束を考慮した定数であり、 \sum_j は j について和を示し、かつ、

前記入力光のフィールドが、前記任意の1個のポートまたは前記入力ポートから前記所定のポートまたは前記出力ポートまでの伝搬方向に沿って、前記断面 X の屈折率分布により位相の変化を多段に受けることにより、前記第1および第2波動伝達媒体内で生じる伝搬波同士の多重散乱による干渉現象により光のフィールドの形状を変化させながら伝搬して、前記所定のポートまたは前記出力ポートから前記出力光の出力フィールドとして出射されることを特徴とする光機能回路。

【請求項2】

前記第1の波動伝達媒体に画定された前記任意の1個のポートから入射された入力光のうち、前記第1の波動伝達媒体に画定された前記所定のポートから出射されない前記漏洩光が、前記第1の波動伝達媒体の前記所定のポートと異なる他のポートに結合されないように、前記任意の1個のポートの光軸と前記他のポートの光軸とは、互いに一致しないように配置されていることを特徴とする請求項1に記載の光機能回路。

【請求項3】

前記任意の1個のポートから入射された入力光のビーム広がり角の半値 θ とすると、前記任意の1個のポートの光軸に対して、前記任意の1個のポートから角度 2θ の2本の線に挟まれた領域の外側に、前記他のポートが配置されていることを特徴とする請求項2に記載の光機能回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光機能回路に関し、より詳細には、2次元的な屈折率分布に応じた多重散乱によりホログラフィックに波動を伝達させるホログラフィック波動伝達媒体を用いた光機能回路に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信分野においては、光の分岐、干渉を容易に実現できる光回路として、光導波路構造を利用した集積光部品が開発されてきた。光の波動としての性質を利用した集積光部品は、光導波路長の調整により光干渉計の作製を容易にしたり、半導体分野における回路加工技術を適用することにより、光部品の集積化が容易になる。

【0003】

このような光導波路構造は、光導波路中を伝搬する光を屈折率の空間的分布を利用して空間的な光閉じ込めを実現する「光閉じ込め構造」である。光回路を構成するためには、光配線などを用いて、各構成要素を縦列的に接続することとなる。このため、光導波路回路の光路長は、光回路内で干渉現象などを生じさせるために求められる光路長よりも長くならざるを得ず、その結果、光回路そのものが極めて大型になってしまうという問題があった。

【 0 0 0 4 】

たとえば、典型的なアレイ導波路格子を例にとると、入力ポートから入力された複数の波長（ λ_j ）の光は、スラブ導波路を有するスターカプラにより分波・合波を繰り返し、分波された光が出力ポートから出力されるが、波長の千分の1程度の分解能で光を分波するために要する光路長は、導波路を伝搬する光の波長の数万倍となる。また、光回路の導波路パターンニングをはじめとして、偏光状態に依存する回路特性を補正するための波長板などを設けるための加工も施す必要がある。（例えば、非特許文献1参照）。

【 0 0 0 5 】

また、光回路の小型化のためには、光を導波路中に強く閉じ込める必要がある。従って、光導波路は、極めて大きな屈折率差を有する必要がある。例えば、従来のステップインデックス型の光導波路では、比屈折率差が0.1%よりも大きな値となるように、屈折率の空間的分布を有するように光導波路を設計する。このような大きな屈折率差を利用して光閉じ込めを行うと、回路構成の自由度が制限されてしまう。特に、光導波路中での屈折率差を、局所的な紫外線照射、熱光学効果または電気光学効果などにより実現しようとしても、得られる屈折率の変化量は高々0.1%程度である。

【 0 0 0 6 】

さらに、光の伝搬方向を変化させる場合に、光導波路の光路を小さい曲率で曲げると、伝搬する光が、光導波路から漏れ出してしまい、透過損失が大きくなるなど、回路特性が劣化する。従って、光の伝搬方向を変化させるには、光導波路の光路にそって徐々に向きを変化させざるを得ず、光回路長は必然的に極めて長いものとなり、その結果として光回路の小型化が困難になる。

【 0 0 0 7 】

そこで、従来の光導波路回路、ホログラフィック回路を用いた光回路よりも小型で、緩やかな屈折率分布、すなわち小さな屈折率差でも十分に高効率の光信号制御を可能とする波動伝達媒体を用いることにより、高効率で小型の光回路を実現する。

【 0 0 0 8 】

しかしながら、波動伝達媒体は、仮想的なメッシュにより画定される仮想的なピクセルの各々が有する屈折率により、光信号を多重散乱させながら、入力ポートから出力ポートに伝播させる。従って、メッシュ状のピクセルを作製する際の作製誤差により、伝播光の漏洩が生じる。これにより、出力ポートに出力される伝搬光と、同一波長の漏洩した伝播光とが干渉を生じたり、波長が異なり干渉を生じない場合にもクロストークが発生する。

【 0 0 0 9 】

また、波動伝達媒体は、干渉の効果を用いて伝播させるので、光路に大きな角度を持たせることができず、クロストークも大きい。干渉の効果は、入射する光の角度により異なるため、斜めに入射する成分の割合が高いことは、クロストークを劣化させる一因となる。特に、入出力ポート近傍の光のビーム径が小さい領域では、光の進行方向に対して斜めに入射する成分の割合が大きいため、クロストークを劣化させる。このようなクロストークの劣化により光回路の透過損失が大きくなるなど、回路特性が劣化するという問題があった。

【 0 0 1 0 】

さらに、波動伝達媒体における入力ポート付近と出力ポート付近のメッシュ状のピクセルは、一種のレンズとして機能し、集光することができる。しかし、メッシュ状のピクセルのため、集光位置の判別が困難であり、他の光素子との接続が難しいという問題があった。

【 0 0 1 1 】

【非特許文献1】Y. Hibino, "Passive optical devices for photonic networks", IE IC Trans. Commun., Vol.E83-B No.10, (2000).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 2 】

10

20

30

40

50

本発明の第1の目的は、ホログラフィック波動伝達媒体を適用し、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を提供することにある。また、第2の目的は、ホログラフィック波動伝達媒体を適用した光導波路デバイスの接続を容易にして、透過損失、クロストークが小さい光機能回路を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

このような目的を達成するために、基板上に、クラッド層と、該クラッド層に埋設された前記クラッド層より高い屈折率を有するコア層とからなる光の導波領域が設けられた光機能回路は、光の伝搬方向に垂直な断面において、光のフィールドの断面が与えられるべき回路上の場所をポートとし、任意の1個のポートから入射された入力光が、所定のポートから出力光として出射されるように、前記コア層に空間的な屈折率分布が形成された第1の波動伝達媒体を備え、前記第1の波動伝達媒体の前記所定のポートから出射されない漏洩光が、他の回路要素と結合しないように、入力光として入力ポートから入射された前記漏洩光が、光路を変換されて、出力ポートから出力光として出射されるように、前記コア層に空間的な屈折率分布が形成された第2の波動伝達媒体をさらに備えた。

10

【0014】

また、波動伝達媒体を含む光機能回路にあっては、第1の波動伝達媒体に画定された任意の1個のポートから入射された入力光のうち、第1の波動伝達媒体に画定された所定のポートから出射されない漏洩光が、第1の波動伝達媒体の所定のポートと異なるポートに結合されないように、任意の1個のポートの光軸と他のポートの光軸とは、互いに一致しないように配置されている。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。本実施形態の光機能回路は、複数の散乱点により画定されるホログラフィック波動伝達媒体であり、2次元的な屈折率分布に応じた多重散乱によりホログラフィックに波動を伝達させる。

【0016】

最初に、本願発明に用いる波動伝達媒体の基本的概念について説明する。ここでは、光回路へ適用することから、波動伝達媒体中を伝搬する「波動」は「光」である。なお、波動伝達媒体にかかる理論は、一般の波動方程式に基づいて、媒質の特性を指定するものであり、一般の波動においても原理的に成り立ち得るものである。波動伝達媒体は、コヒーレントな光のパターンを入力して所望の光のパターンを出力させるために、波動伝達媒体中を伝搬する順伝搬光と逆伝搬光の位相差が、波動伝達媒体中の何れの場合においても小さくなるように屈折率分布が決定される。屈折率分布に応じた局所的なレベルのホログラフィック制御を多重に繰り返すことにより、所望の光のパターンが出力される。

30

【0017】

図1A～Cを参照して、本実施形態にかかる波動伝達媒体の基本構造を説明する。図1Aに示したように、光回路基板1の中に、波動伝達媒体により構成される光回路の設計領域1-1が存在する。光回路の一方の端面は、入力光INが入射する入射面2-1である。入力光INは、波動伝達媒体で構成された空間的な屈折率分布を有する光回路中を多重散乱しながら伝搬し、他方の端面である出射面2-2から出力光OUTとして出力される。図1A中の座標zは、光の伝搬方向の座標（z=0が入射面、z=z₀が出射面）であり、座標xは、光の伝搬方向に対する横方向の座標である。なお、本実施形態では、波動伝達媒体は、誘電体からなるものと仮定し、空間的な屈折率分布は、波動伝達媒体を構成している誘電体の局所的な屈折率を後述する理論に基づいて設定することにより実現される。

40

【0018】

入力光INが形成している「場」（入力フィールド）は、光回路を構成する波動伝達媒体の屈折率の空間的分布に応じて変調され、出力光OUTの形成する「場」（出力フィールド）に変換される。換言すれば、本発明の波動伝達媒体は、その空間的な屈折率分布に

50

応じて入力フィールドと出力フィールドとを相関づけるための（電磁）フィールド変換手段である。なお、これら入力フィールドおよび出力フィールドに対して、光回路中での伝搬方向（図中 z 軸方向）に垂直な断面（図中 x 軸に沿う断面）における光のフィールドを、その場所（ x, z ）における（順）伝搬像（伝搬フィールドあるいは伝搬光）と呼ぶ（図 1 B 参照）。

【 0 0 1 9 】

ここで、「フィールド」とは、一般に電磁場（電磁界）または電磁場のベクトルポテンシャル場を意味している。本実施形態における電磁場の制御は、光回路中に設けられた空間的な屈折率分布、すなわち誘電率の分布を変えることに相当する。誘電率はテンソルとして与えられるが、通常は偏光状態間の遷移はそれほど大きくないので、電磁場の 1 成分のみを対象としてスカラー波近似しても良い近似となる。そこで、本明細書では電磁場を複素スカラー波として扱う。なお、光の「状態」には、エネルギー状態（波長）と偏光状態とがあるため、「フィールド」を光の状態を表現するものとして用いる場合には、光の波長と偏光状態をも包含し得ることとなる。

10

【 0 0 2 0 】

また、通常、伝搬光の増幅や減衰を生じさせない光回路では、屈折率の空間的分布を決めると、焦点以外を入力光 I_N の像（入力フィールド）は、出力光 $O_U T$ の像（出力フィールド）に対して一意的に定まる。このような、出射面 2 - 2 側から入射面 2 - 1 側へ向かう光のフィールドを、逆伝搬像（逆伝搬フィールドあるいは逆伝搬光）と呼ぶ（図 1 C 参照）。このような逆伝搬像は、光回路中の場所ごとに定義することができる。すなわち、光回路中での任意の場所における光のフィールドを考えたとき、その場所を仮想的な「入力光」の出射点として考えれば、上記と同様に出力光 $O_U T$ の像に対して、その場所での逆伝搬像を考えることができる。このように、光回路中の各場所ごとに逆伝搬像が定義できる。

20

【 0 0 2 1 】

特に、単一の光回路において、出射フィールドが入射フィールドの伝搬フィールドとなっている場合には、光回路の任意の点で、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとは一致する。なお、フィールドは、一般的に、対象とする空間全体の上の関数であるが、「入射フィールド」または「出射フィールド」という場合は、入射面あるいは出射面におけるフィールドの断面を意味している。また、「フィールド分布」という場合でも、ある特定の断面に関して議論を行う場合には、その断面についてのフィールドの断面を意味している。

30

【 0 0 2 2 】

屈折率分布の決定方法を説明するためには記号を用いるほうが見通しがよいので、各量を表すために以下のような記号を用いることとする。なお、対象とされる光（フィールド）は、単一状態の光には限定されないので、複数の状態の光が重畳された光を対象とされ得べく、個々の状態の光にインデックス j を充てて一般的に表記する。

【 0 0 2 3 】

・ $^j(x)$: j 番目の入射フィールド（複素ベクトル値関数であり、入射面において設定する強度分布および位相の分布、ならびに、波長および偏波により規定される。）

・ $^j(x)$: j 番目の出射フィールド（複素ベクトル値関数であり、出射面において設定する強度分布および位相分布、ならびに、波長および偏波により規定される。）

40

なお、 $^j(x)$ および $^j(x)$ は、回路中で強度増幅、波長変換、偏波変換が行われないう限り、光強度の総和は同じ（あるいは無視できる程度の損失）であり、それらの波長も偏波も同じである。

【 0 0 2 4 】

・ $\{ ^j(x), ^j(x) \}$: 入出力ペア（入出力のフィールドの組み。）
 $\{ ^j(x), ^j(x) \}$ は、入射面および出射面における、強度分布および位相分布ならびに波長および偏波により規定される。

【 0 0 2 5 】

・ $\{ n_q \}$: 屈折率分布（光回路設計領域全体の値の組。）

50

与えられた入射フィールドおよび出射フィールドに対して屈折率分布を1つ与えたときに光のフィールドが決まるので、 q 番目の繰り返し演算で与えられる屈折率分布全体に対するフィールドを考える必要がある。そこで、 (x, z) を不定変数として、屈折率分布全体を $n_q(x, z)$ と表しても良いが、場所 (x, z) における屈折率の値 $n_q(x, z)$ と区別するために、屈折率分布全体に対しては $\{n_q\}$ と表す。

【0026】

・ n_{core} : 光導波路におけるコア部分のような、周囲の屈折率に対して高い屈折率の値を示す記号。

【0027】

・ n_{clad} : 光導波路におけるクラッド部分のような、 n_{core} に対して低い屈折率の値を示す記号。

10

【0028】

・ $i^j(z, x, \{n_q\})$: j 番目の入射フィールド $i^j(x)$ を屈折率分布 $\{n_q\}$ 中を z まで伝搬させたときの、場所 (x, z) におけるフィールドの値。

・ $o^j(z, x, \{n_q\})$: j 番目の出射フィールド $o^j(x)$ を屈折率分布 $\{n_q\}$ 中を z まで逆伝搬させたときの、場所 (x, z) におけるフィールドの値。

【0029】

本実施形態において、屈折率分布は、すべての j について $i^j(z_e, x, \{n_q\}) = i^j(x)$ 、またはそれに近い状態となるように $\{n_q\}$ が与えられる。

【0030】

20

「入力ポート」および「出力ポート」とは、入射端面および出射端面におけるフィールドの集中した「領域」であり、例えば、その部分に光ファイバを接続することにより、光強度をファイバに伝搬できるような領域である。ここで、フィールドの強度分布および位相分布は、 j 番目のものと k 番目のものとで異なるように設計可能であるので、入射端面および出射端面に複数のポートを設けることができる。さらに、入射フィールドと出射フィールドの組を考えた場合、その間の伝搬により発生する位相が、光の周波数によって異なるので、周波数が異なる光（すなわち波長の異なる光）については、位相を含めたフィールド形状が同じであるか直交しているかの如何にかかわらず、異なるポートとして設定することができる。

【0031】

30

ここで、電磁界は、実数ベクトル値の場で、かつ波長と偏光状態をパラメータとして有するが、その成分の値を一般的な数学的取扱いが容易な複素数で表示し、電磁波の解を表記する。また、以下の計算においては、フィールド全体の強度は1に規格化されているものとする。図1Bおよび図1Cに示したように、 j 番目の入射フィールド $i^j(x)$ および出力フィールド $o^j(x)$ に対し、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとをそれぞれの場所の複素ベクトル値関数として、 $i^j(z, x, \{n\})$ および $o^j(z, x, \{n\})$ と表記する。これらの関数の値は、屈折率分布 $\{n\}$ により変化するため、屈折率分布 $\{n\}$ がパラメータとなる。記号の定義により、 $i^j(x) = i^j(0, x, \{n\})$ 、および、 $o^j(x) = o^j(z_e, x, \{n\})$ となる。これらの関数の値は、入射フィールド $i^j(x)$ 、出射フィールド $o^j(x)$ 、および屈折率分布 $\{n\}$ が与えられれば、ビーム伝搬法などの公知の手法により容易に計算することができる。

40

【0032】

以下に、空間的な屈折率分布を決定するための一般的なアルゴリズムを説明する。図2に、波動伝達媒体の空間的な屈折率分布を決定するための計算手順を示す。この計算は、繰り返し実行されるので、繰り返し回数を q で表し、 $(q - 1)$ 番目まで計算が実行されているときの q 番目の計算の様子が図示されている。 $(q - 1)$ 番目の計算によって得られた屈折率分布 $\{n_{q-1}\}$ をもとに、各 j 番目の入射フィールド $i^j(x)$ および出射フィールド $o^j(x)$ について、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとを数値計算により求め、その結果を各々、 $i^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ および $o^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ と表記する（ステップ S 2 2 0）。

【0033】

これらの結果をもとに、各場所 (z, x) における屈折率 $n_q(z, x)$ を、次式によ

50

り求める (ステップ S 2 4 0)。

$$n_q(z, x) = n_{q-1}(z, x) - \sum_j \text{Im} [\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})^* \cdot \psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})] \cdots (1)$$

ここで、右辺第 2 項中の記号「 \cdot 」は、内積演算を意味し、 $\text{Im}[\]$ は、 $[\]$ 内のフィールド内積演算結果の虚数成分を意味する。なお、記号「 $*$ 」は複素共役である。係数 ψ^j は、 $n_q(z, x)$ の数分の 1 以下の値をさらにフィールドの組の数で割った値であり、正の小さな値である。 \sum_j は、インデックス j について和をとるという意味である。

【 0 0 3 4 】

ステップ S 2 2 0 と S 2 4 0 とを繰り返し、伝搬フィールドの出射面における値 $\psi^j(z, x, \{n\})$ と出射フィールド $\psi^j(x)$ との差の絶対値が、所望の誤差 d_j よりも小さくなると (ステップ S 2 3 0 : Y E S) 計算が終了する。

10

【 0 0 3 5 】

以上の計算では、屈折率分布の初期値 $\{n_0\}$ は適当に設定すればよいが、この初期値 $\{n_0\}$ が予想される屈折率分布に近ければ、それだけ計算の収束は早くなる (ステップ S 2 0 0)。また、各 j について $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ および $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ を計算するにあたっては、パラレルに計算が可能な計算機の場合は、 j ごと (すなわち、 $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ および $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ ごと) に計算すればよいので、クラスタシステム等を利用して計算の効率化を図ることができる (ステップ S 2 2 0)。また、比較的少ないメモリで計算機が構成されている場合は、式 (1) のインデックス j についての和の部分で、各 q で適当な j を選び、その分の $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ および $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ のみを計算して、以降の計算を繰り返すことも可能である (ステップ S 2 2 0)。

20

【 0 0 3 6 】

以上の演算において、 $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ の値と $\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ の値とが近い場合には、式 (1) 中の $\text{Im} [\psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})^* \cdot \psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})]$ は位相差に対応する値となり、この値を減少させることで所望の出力を得ることが可能である。

【 0 0 3 7 】

屈折率分布の決定は、波動伝達媒体に仮想的メッシュを定め、このメッシュによって画定される微小領域 (ピクセル) の屈折率を、各ピクセルごとに決定することと言い換えることもできる。このような局所的な屈折率は、原理的には、その場所ごとに任意の (所望の) 値とすることができる。最も単純な系は、低屈折率 (n_L) を有するピクセルと高屈折率 (n_H) を有するピクセルのみからなる系であり、これら 2 種のピクセルの空間的分布により全体的な屈折率分布が決定される。この場合、媒体中の低屈折率ピクセルが存在する場所を高屈折率ピクセルの空隙として観念したり、逆に、高屈折率ピクセルが存在する場所を低屈折率ピクセルの空隙として観念したりすることができる。すなわち、本発明の波動伝達媒体は、均一な屈折率を有する媒体中の所望の場所 (ピクセル) を、これとは異なる屈折率のピクセルで置換したものと表現することができる。

30

【 0 0 3 8 】

上述した屈折率分布決定のための演算内容を要約すると次のようになる。波動をホログラフィックに伝達させ得る媒体 (光の場合には誘電体) に、入力ポートと出力ポートとを設け、入力ポートから入射した伝搬光のフィールド分布 1 (順伝搬光) と、入力ポートから入射した光信号が出力ポートから出力される際に期待される出力フィールドを出力ポート側から逆伝搬させた位相共役光のフィールド分布 2 (逆伝搬光) と、を数値計算により求める。フィールド分布 1 およびフィールド分布 2 を、伝搬光と逆伝搬光の各点 (x, z) における位相差をなくすように、媒体中での空間的な屈折率分布を求める。なお、このような屈折率分布を得るための方法として最急降下法を採用すれば、各点の屈折率を変数として最急降下法により得られる方向に屈折率を変化させることにより、屈折率を式 (1) のように変化させることで、2 つのフィールド間の差を減少させることができる。このような波動伝達媒体を、入力ポートから入射した光を所望の出力ポートに出射させる光部品に応用すれば、媒体内で生じる伝搬波同士の多重散乱による干渉現象により、実効的な光路長が長くなり、緩やかな屈折率変化 (分布) でも十分に高い光信号制御性を有する光回

40

50

路を構成することができる。

【 0 0 3 9 】

図 3 に、本発明の一実施形態にかかる光合分波回路を示す。上述したアルゴリズムにしたがって、約 2 0 0 回の繰り返しにより、図 3 に示した屈折率分布を有する 1 × 2 光合分波回路が得られる。ここで、図中の光回路設計領域 1 - 1 内の黒色部分は、コアに相当する高屈折率部（誘電体多重散乱部）1 - 1 1 であり、黒色部以外の部分はクラッドに相当する低屈折率部 1 - 1 2 であり、導波路より屈折率の低い散乱点である。クラッドの屈折率は、石英ガラスの屈折率を想定し、コアの屈折率は、石英ガラスに対する比屈折率が 1 . 5 % だけ高い値を有する。光回路のサイズは縦 3 0 0 μ m、横 1 4 0 μ m である。屈折率分布を求める際の計算に用いられたメッシュは、3 0 0 × 1 4 0 である。図 4 に、光合分波回路の透過スペクトルを示す。透過スペクトルから、波長による光合分波器が形成されていることがわかる。

10

【実施例 1】

【 0 0 4 0 】

上述したように、ホログラフィック波動伝達媒体は、入力ポートから入射した光を所望の出力ポートに出射させることができる。そこで、基板上に複数の回路要素が形成された光機能回路において、各々の回路要素から漏れ出した光（以下、漏洩光という）、すなわち回路要素の所定の出力ポートから出射されない光を除去する光部品として、ホログラフィック波動伝達媒体を用いる。

【 0 0 4 1 】

20

図 5 に、光分岐回路における漏洩光の除去方法を示す。1 × 4 光分岐回路は、基板 1 0 1 に形成された導波路型の分岐回路であり、入力導波路 1 0 2 から入射された光は、3 つの分岐導波路 1 0 4 a ~ 1 0 4 c を透過して、4 つの出力導波路 1 0 3 a ~ 1 0 3 d から出射される。このとき、入出力導波路と光学的に結合する光ファイバの軸ズレ、モード不整合によって、1 × 4 光分岐回路 1 0 1 内に漏洩光が生じる。また、分岐導波路 1 0 4 a において生じる放射光またはエバネッセント光が漏洩光となって、分岐導波路 1 0 4 b , 1 0 4 c 及び出力導波路 1 0 3 a ~ 1 0 3 d に再結合して、分岐光の出力パワーの一様性を劣化させる。同様に、分岐導波路 1 0 4 b , 1 0 4 c において生じた放射光またはエバネッセント光が漏洩光となって、出力導波路 1 0 3 a ~ 1 0 3 d に再結合して分岐光の出力パワーの一様性を劣化させる。

30

【 0 0 4 2 】

そこで、分岐導波路 1 0 4 a ~ 1 0 4 c において生じる漏洩光が、導波路に再び結合することを防ぐために、迷光ガイド 1 0 5 a ~ 1 0 5 c を設置する。迷光ガイド 1 0 5 a ~ 1 0 5 c は、上述した波動伝達媒体であり、基板 1 0 1 内のクラッド部の有限の領域に配置されている。分岐導波路 1 0 4 a ~ 1 0 4 c において生じる漏洩光は、迷光ガイド 1 0 5 a ~ 1 0 5 c により、基板 1 0 1 の入出力導波路が形成されていない側面に出射される。

【 0 0 4 3 】

図 6 に、1 × 4 光分岐回路の挿入損失を示す。波長 1 . 5 5 μ m の光を入射したときの、入力導波路と各出力導波路との間の挿入損失を示す。迷光ガイド 1 0 5 a ~ 1 0 5 c が有る場合の挿入損失のバラツキは 0 . 1 d B であり、迷光ガイドが無い場合の挿入損失バラツキは 1 d B である。波導伝達媒体を用いた迷光ガイドにより、漏洩光が除去されていることがわかる。

40

【実施例 2】

【 0 0 4 4 】

図 7 に、M Z 型波長合分波回路における漏洩光の除去方法を示す。M Z 型波長合分波回路は、入力導波路 1 1 2 a , 1 1 2 b に結合された光カプラ 1 1 4 a と、出力導波路 1 1 3 a , 1 1 3 b に結合された光カプラ 1 1 4 b と、光カプラ 1 1 4 a と光カプラ 1 1 4 b とを結合するアーム導波路 1 1 6 a , 1 1 6 b とから構成されている。実施例 1 同様に、入出力導波路と光学的に結合する光ファイバの軸ズレ、モード不整合によって、M Z 型波

50

長合分波回路内に漏洩光が生じる。また、光カプラ114a, 114bにおいて生じる放射光またはエバネッセント光が漏洩光となって、アーム導波路116a, 116b、出力導波路113a, 113bに再結合してクロストークを劣化させる。

【0045】

そこで、光カプラ114a, 114bにおいて生じる漏洩光が、光導波路に再び結合することを防ぐために、迷光ガイド115a, 115bを設置する。迷光ガイド115a, 115bは、上述した波動伝達媒体であり、基板111内のクラッド部の有限の領域に配置されている。光カプラ114a, 114bにおいて生じる漏洩光は、迷光ガイド115a, 115bにより、基板111の入出力導波路が形成されていない側面に出射される。

【0046】

図8A, Bに、MZ型波長合分波回路の透過スペクトルを示す。図8Aは、迷光ガイドが無いMZ型波長合分波回路の透過スペクトルであり、クロストークは25dBである。図8Bは、実施例2にかかる漏洩光の除去方法を適用したMZ型波長合分波回路の透過スペクトルであり、クロストークは40dBである。波導伝達媒体を用いた迷光ガイド115a, 115bにより、漏洩光が除去されていることがわかる。

【0047】

実施例1, 2では、ホログラフィック波動伝達媒体を、漏洩光を除去する光部品として適用することにより、従来の光回路において、複数の出力ポート間で干渉を生じず、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を実現することが可能となる。

【実施例3】

【0048】

図4に示した光合分波回路の透過スペクトルを参照すると、出力ポートbに出射されるべき伝播光の一部が、出力ポートaに出射されていることがわかる。これは、メッシュ状の波動伝達媒体を作製する際の作製誤差により、波動伝達媒体を透過する光の一部が、所定の出力ポートには出力されず、他の出力ポートに出射されたり、出力ポート以外の部分から漏洩するからである。このように、入力ポートから入射された光信号のうち、所定の出力ポートから出射されない光、すなわち設計上想定された回路動作に寄与しない、または回路動作を阻害する伝播光を、以下「迷光」と呼ぶ。図4に示したように、出力ポートbに出射されるべき伝播光が、出力ポートaに迷光となって出射されていることがわかる。

【0049】

以下、この迷光の除去方法について、図3に示した光合分波回路を例として詳しく説明する。図9に、本発明の実施例3にかかる迷光の除去方法を示す。光合分波回路の入力ポート3-1の光軸3-11に対して、出力ポート3-2の光軸3-12a, bを座標x上で横方向にずらしている。具体的に図9を参照して、入力ポート3-1から入射された光信号のビーム広がり角の半値とする。入力ポート3-1の光軸3-11に対して入力ポート3-1から角度の2本の線と、出射面2-2との交点よりも外側に、出力ポート3-2を配置すればよい。

【0050】

すなわち、設計上想定された回路動作に寄与しない伝播光成分は、屈折率の異なるピクセルによって散乱はされるものの、全体としてはほぼ直進するため、出力ポート3-2の光軸3-12a, bを、入力ポート3-1の光軸3-11に対して、ずらして設定するだけで、迷光を除去する一定の効果がある。

【0051】

図10に、実施例3にかかる光合分波回路の透過スペクトルを示す。図4に示したスペクトルと比較すると、出力ポートaに出射されていた迷光が抑制されていることがわかる。このようにして、ホログラフィック波動伝達媒体を適用することにより小型化を実現することができ、複数の出力ポート間で干渉を生じず、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を実現することができる。

10

20

30

40

50

【実施例 4】

【0052】

図 1 1 に、本発明の実施例 4 にかかる迷光の除去方法を示す。実施例 3 と同様に、入力ポート 3 - 1 の光軸 3 - 1 1 に対して、出力ポート 3 - 2 の光軸 3 - 1 2 a , b をずらす。実施例 4 では、出力ポート 3 - 2 を、 $x = x_e$ 上の出射面 2 - 3 に設定し、光軸 3 - 1 1 と光軸 3 - 1 2 a , b とが直角をなす。

【0053】

このとき、屈折率分布を求める計算は、入力ポート 3 - 1 と出力ポート 3 - 2 とを結ぶ直線に沿って計算すればよく、この場合には、入力フィールドと出力フィールドを傾けて与えることになる。

10

【実施例 5】

【0054】

図 1 2 に、本発明の実施例 5 にかかる迷光の除去方法を示す。実施例 4 の構成に加えて、迷光ガイド 4 を配置する。実施例 4 では、入力ポートの光軸 3 - 1 1 に沿って、出射面 2 - 2 の方向に迷光が出力されると考えられる。そこで、光軸 3 - 1 1 周辺の迷光をまとめて、出射面 2 - 2 の左端部にまとめて出力できるように、迷光ガイド 4 を配置する。

【0055】

迷光ガイド 4 の屈折率分布を求める計算は、迷光ガイドの入力端面を適当に決めて、入力端面での迷光フィールドを求める。次に、入力端面を基準とする軸に沿って、上述したアルゴリズムで計算を行う。

20

【実施例 6】

【0056】

図 1 3 に、本発明の実施例 6 にかかる迷光の除去方法を示す。実施例 3 の構成に加えて、入力導波路 5 - 1 と出力導波路 5 - 2 a , b とを配置する。図 9 に示した光回路は、光回路設計領域 1 - 1 内に形成された波動伝達媒体の入力ポート 3 - 1 および出力ポート 3 - 2 が構造的な境界を有していないので、光ファイバとの接続が難しい。

【0057】

そこで、光回路設計領域 1 - 1 周辺の基板 1 - 2 に、入力ポートに接続された導波路 5 - 1 および出力ポートに接続された導波路 5 - 2 a , b を形成する。光導波路 5 - 1 , 5 - 2 は、コア部およびその周囲のクラッド部からなる直線導波路であり、構造的な境界を有しているので、光ファイバ 6 - 1 , 6 - 2 との接続が容易となる。

30

【0058】

なお、実施例 6 では、直線導波路を示したが、光導波路は、レイアウトに自在性があり、曲線導波路も可能である。従って、光回路設計領域 1 - 1 の入力ポートおよび出力ポートと、光ファイバとの位置関係の自由度が増す。

【実施例 7】

【0059】

図 1 4 に、本発明の実施例 7 にかかる迷光の除去方法を示す。実施例 7 は、基板 1 - 2 の上に、図 2 に示した設計手順により設計された波動伝達媒体が形成された複数の光回路設計領域を有する複合光回路の一例である。光ファイバ 6 - 1 は、光回路設計領域 1 - 1 a の入力ポートに接続されている入力導波路 5 - 1 と光学的に結合されている。光回路設計領域 1 - 1 a は、例えば、光合分波器であり、2 つの出力ポートを有する。出力ポートは、それぞれ接続導波路 5 - 3 a , b を介して、光回路設計領域 1 - 1 b の入力ポートに接続されている。光回路設計領域 1 - 1 b は、例えば、フィルタ回路であり、2 つの出力ポートを有する。出力ポートは、それぞれ出力導波路 5 - 2 a , b を介して、光ファイバ 6 - 2 a , b に光学的に結合されている。

40

【0060】

光回路設計領域 1 - 1 a は、実施例 3 に示したように、入力ポートの光軸に対して、出力ポートの光軸が座標 x 上で横方向にずれている。入力導波路 5 - 1 の周囲には、実施例 5 と同様に、光ファイバと入力導波路との接続部で発生する迷光が、光回路設計領域 1 -

50

1 aに入力されないように、迷光ガイド4 - 2を配置する。

【0061】

また、導波路5 - 3 a, bの周囲には、出力ポートと導波路との接続部で発生する迷光が、光回路設計領域1 - 1 bに入力されないように、迷光ガイド4 - 3を配置する。出力導波路5 - 2 a, bの周囲にも、出力ポートと導波路との接続部で発生する迷光が、光ファイバに結合しないように、迷光ガイド4 - 4 a, bを配置する。

【0062】

このようにして、接続部で発生する迷光、波動伝達媒体で発生する迷光が、次段の光回路に入力されないようにして、各々回路特性のよい光回路を構成することができる。また、ホログラフィック波動伝達媒体を適用することにより光回路の小型化を実現することができる。

10

【0063】

実施例3 ~ 7では、ホログラフィック波動伝達媒体を適用することにより光回路の小型化を図り、さらに、入力ポートの光軸と出力ポートの光軸とが、互いに一致しないように配置することにより、複数の出力ポート間で干渉を生じず、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を実現することが可能となる。

【実施例8】

【0064】

上述したように、入出力導波路と光学的に結合する光ファイバの軸ズレ、モード不整合によって、漏洩光が生じたり、迷光が発生する。そこで、ホログラフィック波動伝達媒体を適用した光導波路デバイスの接続を容易にして、透過損失、クロストークが小さい光機能回路を実現する。

20

【0065】

図15に、本発明の実施例8にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。図3に示した光合分波回路に光ファイバを接続し、不図示のパッケージに封入することにより光導波路デバイスを構成する。基板10に形成された波動伝達媒体11の入射端面における入力ポートと、出射端面における出力ポートとに、光ファイバ13 a ~ 13 cの端面を結合する。光ファイバ13 a ~ 13 cは、固定するガラスブロック12 a ~ 12 cに固定され、基板10とガラスブロック12 a ~ 12 cとの位置合わせを行いながら入出力ポートに結合する。

30

【0066】

波動伝達媒体11は、メッシュ状のピクセルのため、構造的な境界を有していないので、入出力ポートの集光位置を目視で判別することが困難である。そこで、基板10には、演算の際に決定された入出力ポートの座標を基準に、調芯用のマーカ15 a ~ 15 cを形成する。調芯用マーカ15 a ~ 15 cは、基板10に導波路コアを形成しても良いし、基板10表面に金属を形成するなどしても良い。対向するガラスブロック12 a ~ 12 cにも、光ファイバ23 a ~ 23 cの集光位置に対応したマーカを形成しておくことにより、位置あわせを容易に行うことができる。

【実施例9】

【0067】

図16に、本発明の実施例9にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。入出力ポート近傍の光のビーム径が小さい領域において、光の進行方向に対して斜めに入射する成分の割合を小さくして、クロストークを抑える必要がある。そこで、図3に示した光合分波回路である波動伝達媒体21の入力ポートに導波路25 aを接続し、出力ポートに光導波路25 b, 25 cを接続する。さらに、基板20には、モードフィールド変換用の波動伝達媒体24 a ~ 24 cを形成して、光導波路25 a ~ 25 cと光ファイバ23 a ~ 23 cとの結合効率を向上させる。

40

【0068】

モードフィールド変換用の波動伝達媒体24 a ~ 24 cと光ファイバ23 a ~ 23 cとの接続においても、調芯用のマーカ26 a ~ 26 cを用いる。すなわち、基板20には、

50

演算の際に決定された入出力ポートの座標を基準に、調芯用マーカ 26a ~ 26c を形成し、対向するガラスブロック 22a, 22b にも、光ファイバ 23a ~ 23c の集光位置に対応したマーカを形成しておくことにより、位置あわせを容易に行うことができる。

【実施例 10】

【0069】

図 17 に、本発明の実施例 10 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。実施例 9 との相違は、モードフィールド変換用の波動伝達媒体 24a ~ 24c の構成が異なる。

【0070】

実施例 9 の波動伝達媒体 24a ~ 24c は、仮想的なメッシュにより画定される仮想的なピクセルの各々が有する屈折率（ここでは、2 値の屈折率）により、波動伝達媒体の全体的な屈折率分布を決定していた。実施例 10 では、上述した空間的な屈折率分布を決定するための一般的なアルゴリズムを使用して、図 17 に示すように、光導波路のコア幅を光軸方向に変調することにより屈折率分布を決定する。

【0071】

波動伝達媒体 24a のコアの幅の構成方法について簡単に説明する。光ファイバ 23a から入力された信号光のフィールドと、波動伝達媒体 21 に出力される希望の信号光のフィールドの位相を反転させたフィールドを、光ファイバ 23a へ伝搬させたフィールドとの位相差が、最小となるような屈折率分布を与えれば、入力させた信号光を希望の出力信号光に変換することができる。具体的には、光軸方向の各位置における位相差を計算し、位相差が正である場合には光導波路のコア幅を拡大し、位相差が負である場合には光導波路のコア幅を縮小することにより位相差を最小化する。このような構成方法に基づき、位相差が最小となるような光導波路のコアの幅をそれぞれ計算により求めることで、入力させた信号光を希望の出力信号光に変換することができる。

【実施例 11】

【0072】

図 18 に、本発明の実施例 11 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。図 3 に示した光合分波回路である波動伝達媒体 21 が形成された基板 20 と、発光素子 41 と受光素子 42 とが載置された基板 40 とを結合して、不図示のパッケージに封入することにより光導波路デバイスを構成する。波動伝達媒体 21 の出力ポートに光導波路 25b, 25c を接続し、集光レンズとなる波動伝達媒体 27a ~ 27b を形成して、発光素子 41 および受光素子 42 との結合効率を向上させる。

【0073】

集光レンズとなる波動伝達媒体 27a ~ 27b と発光素子 41 および受光素子 42 との接続においても、調芯用のマーカ 26b, 26c を用いる。このようにして、集光レンズを波動伝達媒体として基板上に形成することで、光導波路デバイスの小型化を図ることができる。従来、光導波路デバイスを作製する際に、発光素子および受光素子と、集光レンズと、光合分波器との間で光軸合わせが必要であったが、本実施形態によれば、調芯用のマーカによる位置合わせを行うだけなので、光導波路デバイスの作製工程を短縮することができる。

【実施例 12】

【0074】

図 19 に、本発明の実施例 12 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。図 3 に示した光合分波回路である波動伝達媒体 21 が形成された基板 20 と、例えば、光スイッチ 51 と光フィルタ 52 とが形成された基板 50 とを結合して、不図示のパッケージに封入することにより光導波路デバイスを構成する。基板 20 の光導波路 25b, 25c と基板 50 の光導波路とを、モードフィールド変換用の波動伝達媒体 24b, 24c により接続する。

【0075】

接続のための位置合わせには、図 16 の光ファイバの場合と同様に、調芯用のマーカ 2

10

20

30

40

50

6 b , 2 6 c を用いる。このようにして、従来の P L C 回路と波動伝達媒体との接続も、調芯用のマーカにより容易に行うことができ、実施例 8 , 9 と本実施例によれば、様々な構成の光導波路デバイスを容易に組み合わせることができる。

【実施例 1 3】

【 0 0 7 6】

図 2 0 に、本発明の実施例 1 3 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。基板 3 0 上の波動伝達媒体 3 1 の入力ポートには導波路 3 5 a を接続し、出力ポートには光導波路 3 5 b , 3 5 c を接続する。実施例 9 と同様に、さらに、モードフィールド変換用の波動伝達媒体 3 4 a ~ 3 4 c を形成して、光導波路 3 5 a ~ 3 5 c と入出力用の光ファイバ 3 3 a , 3 3 b との結合効率を向上させる。

10

【 0 0 7 7】

モードフィールド変換用の波動伝達媒体 3 4 a ~ 3 4 c と入出力用の光ファイバ 3 3 a , 3 3 b との接続には、モニタ用導波路 3 6 a , 3 6 b を用いる。すなわち、基板 3 0 には、演算の際に決定された入出力ポートの座標を基準に、モニタ用導波路 3 6 a , 3 6 b のポートを形成し、対向するガラスブロック 3 2 a , 3 2 b にも、光ファイバの集光位置に対応した調芯用の光ファイバ 3 3 a , 3 3 b を保持しておく。調芯用の光ファイバ 3 3 a , 3 3 b とモニタ用導波路 3 6 a , 3 6 b とを介して、光源と光パワーメータを接続し、光強度を測定しながら接続位置をきめることにより、モードフィールド変換用の波動伝達媒体 3 4 a ~ 3 4 c と入出力用の光ファイバ 3 3 a , 3 3 b との位置あわせを容易に行うことができる。

20

【実施例 1 4】

【 0 0 7 8】

図 2 1 に、本発明の実施例 1 4 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。実施例 1 3 との相違は、モードフィールド変換用の波動伝達媒体 3 4 a ~ 3 4 c が、実施例 1 0 と同様に、導波路幅を変調した波動伝達媒体となっている。

【 0 0 7 9】

実施例 8 ~ 1 4 では、基板上に形成された調芯用のマーカまたはモニタ用導波路により、ホログラフィック波動伝達媒体を適用した光導波路デバイスの接続を容易にすることが可能となる。

【実施例 1 5】

【 0 0 8 0】

図 2 2 に、本発明の実施例 1 5 にかかる光回線終端装置 (O N U) の構成を示す。O N U は、光ファイバ加入者網の加入者宅に設置される機器であり、局側の光回線終端装置 (O L T) との間で、光信号の送受信を行う。O L T - O N U の下り信号には、波長 1 . 5 5 μ m を使用し、O N U - O L T の上り信号には、波長 1 . 5 5 μ m を使用する。

30

【 0 0 8 1】

O N U は、P L C 基板 2 0 1 上に下り信号を受信する P D 2 0 2 と、上り信号を送信する L D 2 0 3 と、L D 2 0 3 の出力光のパワーを監視するモニタ P D 2 0 4 と、上り信号および下り信号を合分波する W D M フィルタ 2 0 5 とを備えている。また、W D M フィルタ 2 0 5 で波長多重された信号は、ガラスブロック 2 0 6 に固定された光ファイバ 2 0 7 を介して、O L T と接続される。O N U においては、P D 2 0 2 と光導波路、L D 2 0 3 と光導波路、W D M フィルタ 2 0 5 と光導波路、光ファイバ 2 0 7 と光導波路との接続箇所において、漏洩光が生じる。

40

【 0 0 8 2】

そこで、上述した実施例に記載された漏洩光の除去方法などを適用する。波動伝達体 2 1 1 , 2 1 2 は、実施例 1 1 に示したように、集光レンズの機能を有し、それぞれ P D 2 0 2 と光導波路、L D 2 0 3 と光導波路の結合効率を向上させる。W D M フィルタと光導波路の交差箇所においては、実施例 1 , 2 に示したように、波動伝達体からなる迷光ガイド 2 1 3 a , 2 1 3 b を設置して、漏洩光が再び光導波路に結合することを防ぐ。さらに、P L C 基板 2 0 1 とガラスブロック 2 0 6 との接続には、実施例 8 に示したように、マ

50

ーカ 2 1 5 a , 2 1 5 b を用い、光ファイバ 2 0 7 と光導波路との結合には、実施例 9 に示したように、モードフィールド変換用の波動伝達媒体 2 1 4 を用いる。

【 0 0 8 3 】

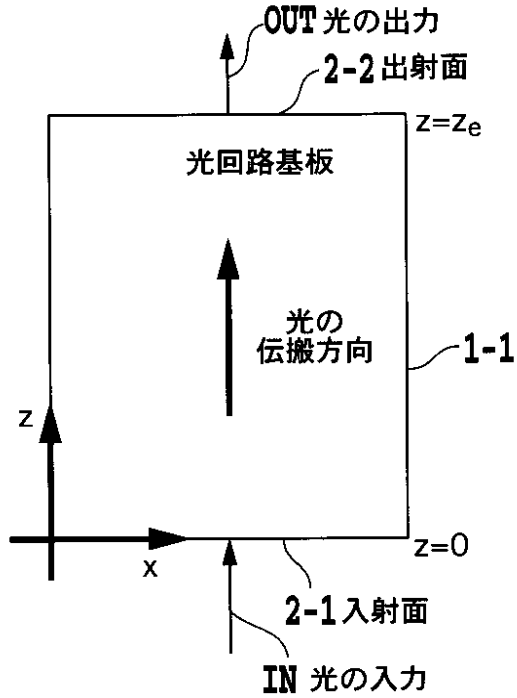
このようにして、各々の接続箇所における光結合の結合効率を向上させるとともに、クロストークを抑制することにより、光受信器として S / N の劣化を回避することができる。また、実装工程における接続が容易になるので、実装のための工数削減し、生産性を向上することができる。

【 図面の簡単な説明 】

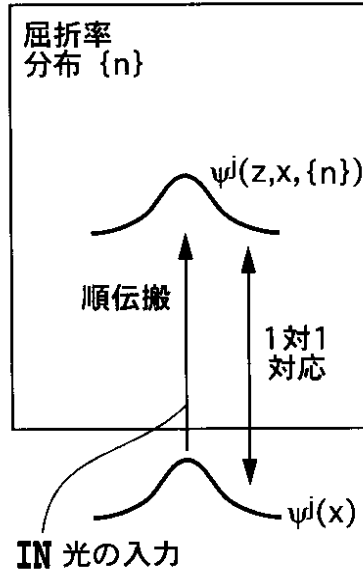
【 0 0 8 4 】

- 【 図 1 A 】 図 1 A は、波動伝達媒体の基本構造を説明するための図、 10
- 【 図 1 B 】 図 1 B は、波動伝達媒体の基本構造を説明するための図、
- 【 図 1 C 】 図 1 C は、波動伝達媒体の基本構造を説明するための図、
- 【 図 2 】 図 2 は、波動伝達媒体の空間的な屈折率分布を決定するための計算手順を示すフローチャート、
- 【 図 3 】 図 3 は、本発明の一実施形態にかかる光合分波回路を示す図、
- 【 図 4 】 図 4 は、光合分波回路の透過スペクトルを示す図、
- 【 図 5 】 図 5 は、光分岐回路における漏洩光の除去方法を示す図、
- 【 図 6 】 図 6 は、実施例 1 にかかる漏洩光の除去方法を適用した光分岐回路の挿入損失を示す図、
- 【 図 7 】 図 7 は、M Z 型波長合分波回路における漏洩光の除去方法を示す図、 20
- 【 図 8 A 】 図 8 A は、迷光ガイドが無い M Z 型波長合分波回路の透過スペクトルを示す図、
- 【 図 8 B 】 図 8 B は、実施例 2 にかかる漏洩光の除去方法を適用した M Z 型波長合分波回路の透過スペクトルを示す図、
- 【 図 9 】 図 9 は、本発明の実施例 3 にかかる迷光の除去方法を示す図、
- 【 図 1 0 】 図 1 0 は、実施例 3 にかかる光合分波回路の透過スペクトルを示す図、
- 【 図 1 1 】 図 1 1 は、本発明の実施例 4 にかかる迷光の除去方法を示す図、
- 【 図 1 2 】 図 1 2 は、本発明の実施例 5 にかかる迷光の除去方法を示す図、
- 【 図 1 3 】 図 1 3 は、本発明の実施例 6 にかかる迷光の除去方法を示す図、
- 【 図 1 4 】 図 1 4 は、本発明の実施例 7 にかかる迷光の除去方法を示す図、 30
- 【 図 1 5 】 図 1 5 は、本発明の実施例 8 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
- 【 図 1 6 】 図 1 6 は、本発明の実施例 9 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
- 【 図 1 7 】 図 1 7 は、本発明の実施例 1 0 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
- 【 図 1 8 】 図 1 8 は、本発明の実施例 1 1 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
- 【 図 1 9 】 図 1 9 は、本発明の実施例 1 2 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、 40
- 【 図 2 0 】 図 2 0 は、本発明の実施例 1 3 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
- 【 図 2 1 】 図 2 1 は、本発明の実施例 1 4 にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
- 【 図 2 2 】 図 2 2 は、本発明の実施例 1 5 にかかる光回線終端装置の構成を示す図である。

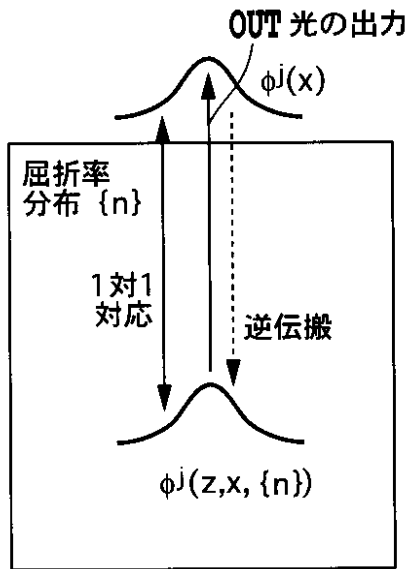
【図1A】



【図1B】

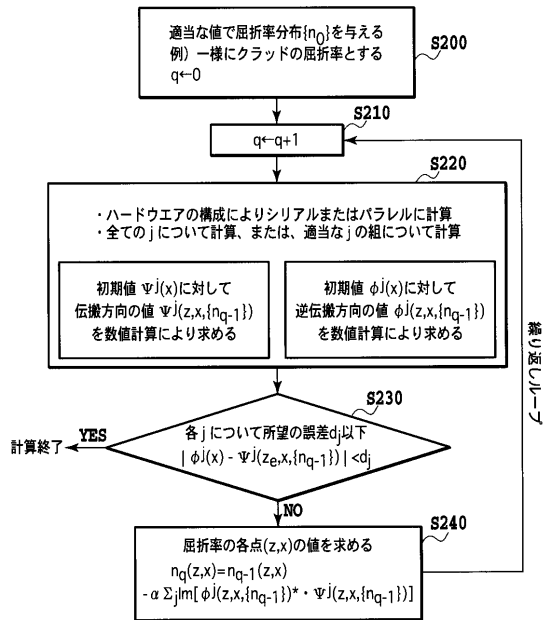


【図1C】



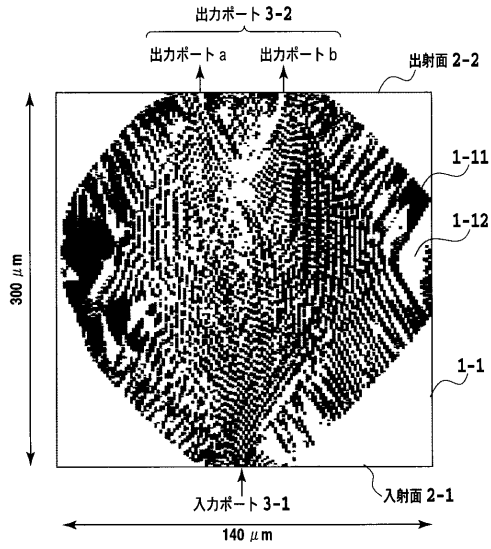
j番目の入出力ペア
{psi^j(x), phi^j(x)}

【図2】

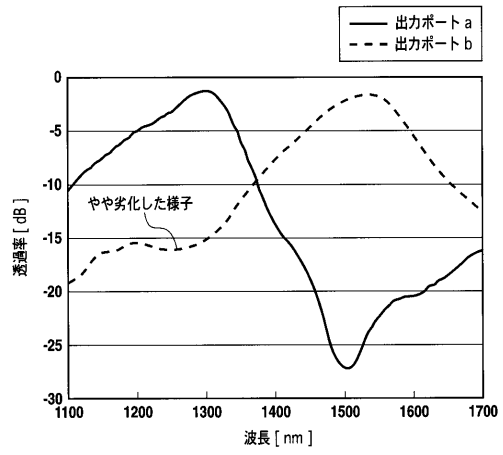


※ “←” の意味はたとえば A ← B + C はAにBとCの和を代入することを表す

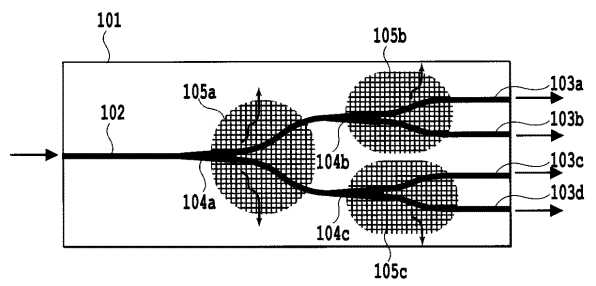
【 図 3 】



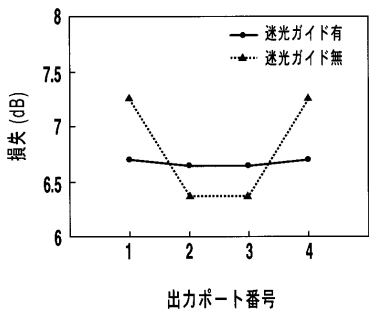
【 図 4 】



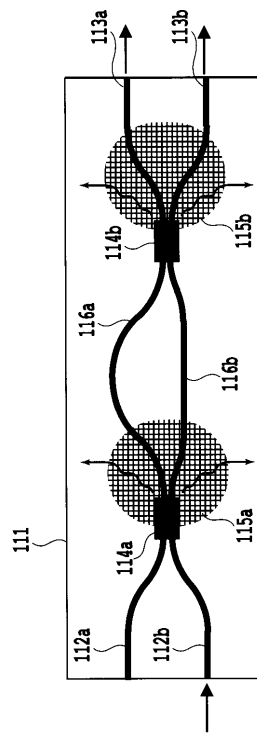
【 図 5 】



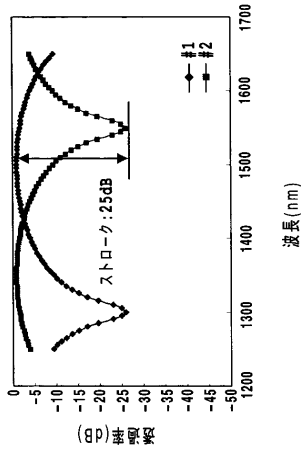
【 図 6 】



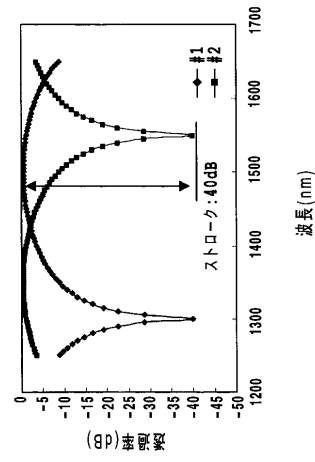
【 図 7 】



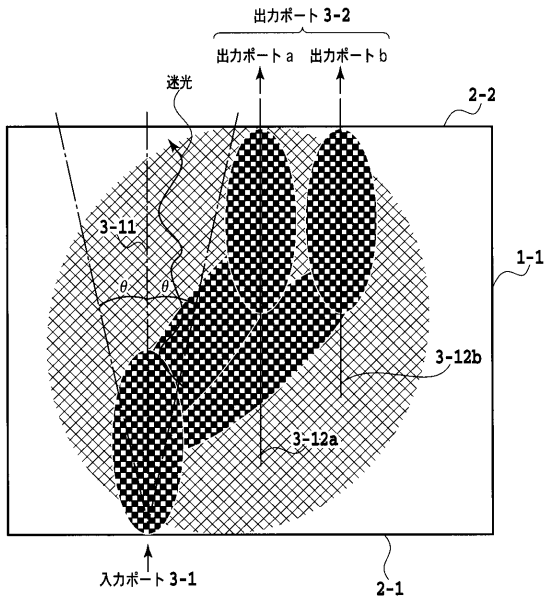
【図 8 A】



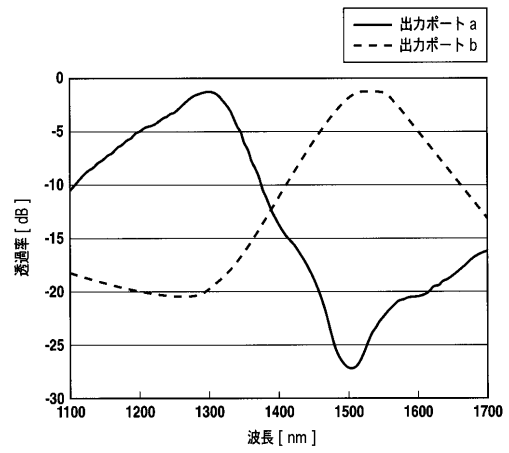
【図 8 B】



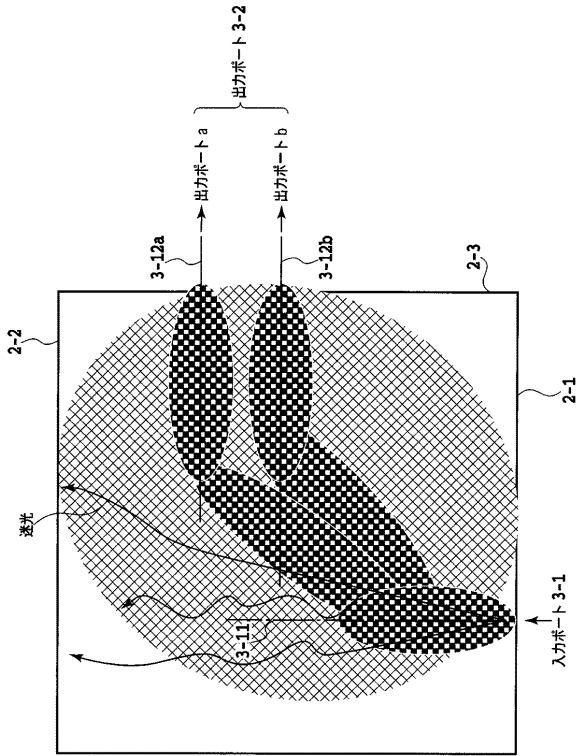
【図 9】



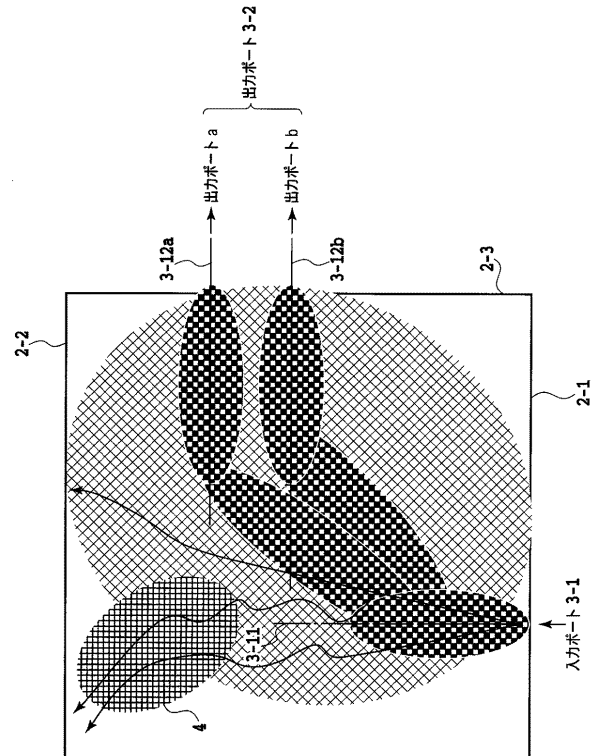
【図 10】



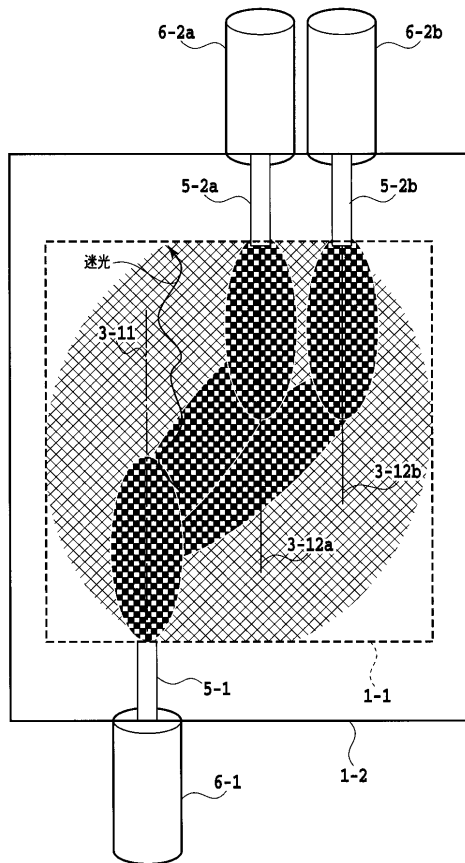
【図 1 1】



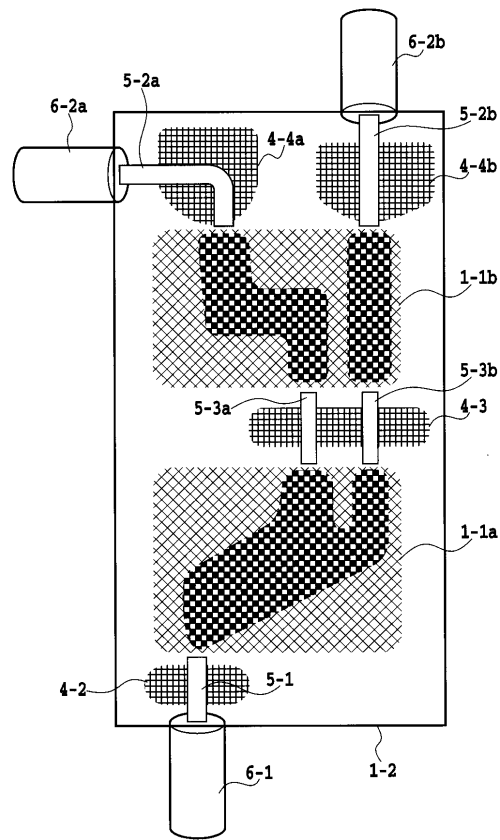
【図 1 2】



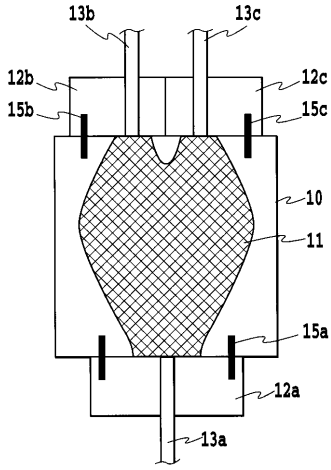
【図 1 3】



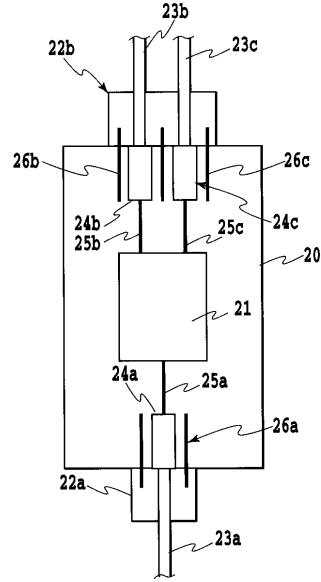
【図 1 4】



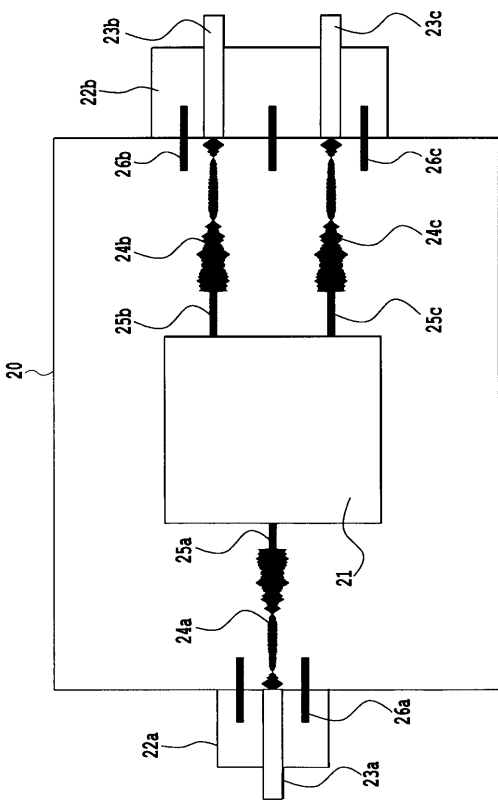
【 図 15 】



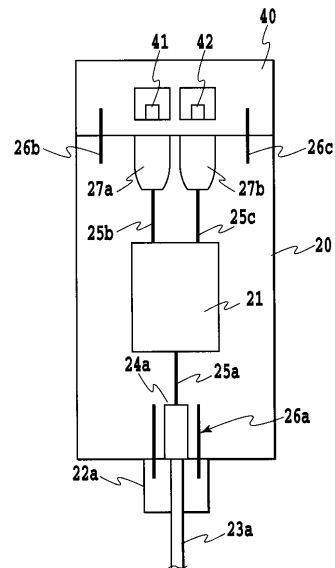
【 図 16 】



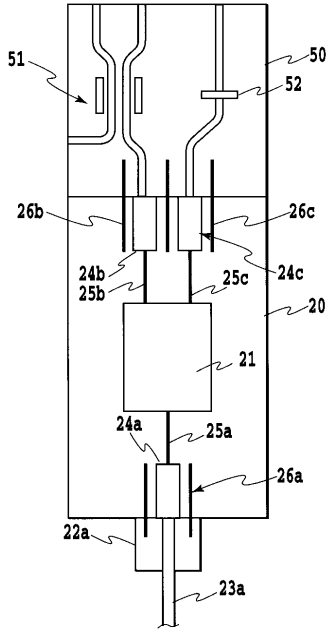
【 図 17 】



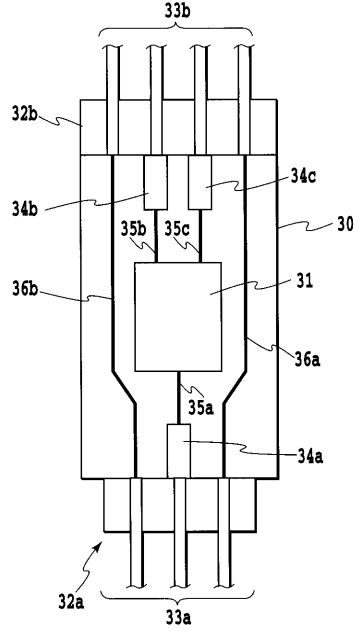
【 図 18 】



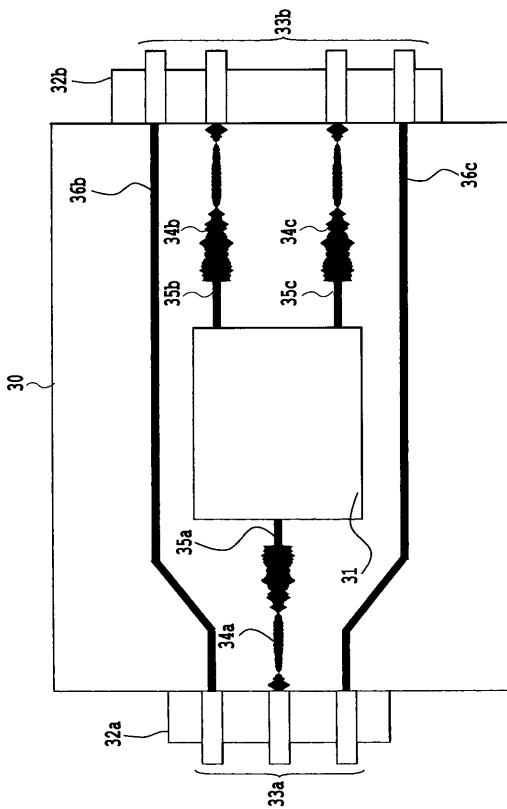
【図19】



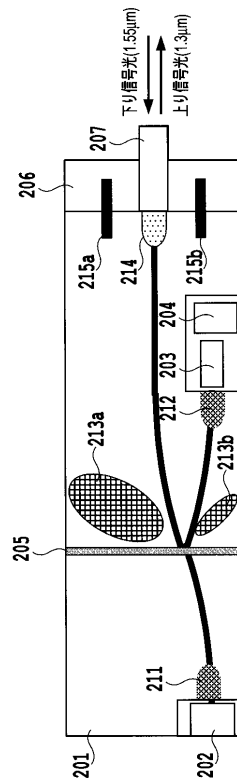
【図20】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

- (72)発明者 橋本 俊和
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 才田 隆志
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 高橋 浩
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 柳澤 雅弘
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 小川 育生
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 柴田 知尋
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 鈴木 扇太
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 和田 将彦

- (56)参考文献 国際公開第2004/059354(WO, A1)
特開平04-316005(JP, A)
特開平05-011135(JP, A)
特開平08-190028(JP, A)
特開平08-313744(JP, A)
藪哲朗他, 新しい設計方法による低損失Y分岐光導波路, 電気学会研究資料, 2000年 5月
19日, EMT-00-29~4, 第65~72頁

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/122
G02B 6/30
IEEE
JSTPlus(JDreamII)
JST7580(JDreamII)