

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6140923号
(P6140923)

(45) 発行日 平成29年6月7日 (2017.6.7)

(24) 登録日 平成29年5月12日 (2017.5.12)

(51) Int. Cl.

F I

GO 2 B 6/122 (2006.01)
 GO 2 B 6/12 (2006.01)
 GO 2 B 6/42 (2006.01)
 HO 1 S 5/022 (2006.01)

GO 2 B 6/122 3 1 1
 GO 2 B 6/12 3 0 1
 GO 2 B 6/42
 HO 1 S 5/022

請求項の数 5 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2011-289548 (P2011-289548)
 (22) 出願日 平成23年12月28日 (2011.12.28)
 (65) 公開番号 特開2013-140205 (P2013-140205A)
 (43) 公開日 平成25年7月18日 (2013.7.18)
 審査請求日 平成26年10月29日 (2014.10.29)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (73) 特許権者 000004237
 日本電気株式会社
 東京都港区芝五丁目7番1号
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100119987
 弁理士 伊坪 公一
 (74) 代理人 100081330
 弁理士 樋口 外治
 (74) 代理人 100114177
 弁理士 小林 龍

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スポットサイズ変換器、光送信器、光受信器、光送受信器及びスポットサイズ変換器の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1クラッド層と、

光を入出力する第1端部から第2端部に向かう方向に沿って前記第1端部から延びるよ
 うに、前記第1クラッド層上に並んで配置された第1コア層及び第2コア層と、

前記第1コア層と前記第2コア層との間で前記第1クラッド層上に配置され、前記第1
 コア層及び前記第2コア層とは別体であり、前記第1端部から前記第2端部に向かう方向
 に沿って前記第2端部まで延びる第3コア層と、

前記第1コア層及び前記第2コア層及び前記第3コア層上に配置された第2クラッド層
 と、
 を備え、

前記第1コア層及び前記第2コア層の断面積は、前記第1端部から前記第2端部に向か
 う方向において増加して最大となった後減少しており、

前記第3コア層は、前記第1端部から前記第2端部に向かう方向において、前記第1コ
 ア層及び前記第2コア層の断面積が最大となる位置から前記第2端部まで断面積が増加し
 ながら延びるように配置され、且つ、前記第1端部から前記第2端部に向かう方向におい
 て、前記第1コア層及び前記第2コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第3コア層
 の断面積が最大となる、スポットサイズ変換器。

【請求項 2】

基板と、

前記基板上に配置された第 1 クラッド層と、

光を入力する第 1 端部から光を出力する第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、

前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、を有し、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、増加して最大となった後減少しており、

10

前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最大となる位置から前記第 2 端部まで断面積が増加しながら延びるように配置され、且つ、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第 3 コア層の断面積が最大となる、スポットサイズ変換部と、

前記基板上に配置され、前記第 1 端部に入力され前記スポットサイズ変換部を伝搬して前記第 2 端部から出力される光を発生する光発生部と、
を備える光送信器。

【請求項 3】

20

基板と、

前記基板上に配置された第 1 クラッド層と、

光を出力する第 1 端部から光を入力する第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、

前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、を有し、

30

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において増加して最大となった後減少しており、

前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最大となる位置から前記第 2 端部まで断面積が増加しながら延びるように配置され、且つ、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第 3 コア層の断面積が最大となる、スポットサイズ変換部と、

前記基板上に配置され、前記第 2 端部から入力され前記スポットサイズ変換部を伝搬して前記第 1 端部から出力された光を検出する光検出部と、
を備える光受信器。

40

【請求項 4】

第 1 基板と、

前記第 1 基板上に配置された第 1 クラッド層と、

光を入力する第 1 端部から光を出力する第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、

前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド

50

層と、を有し、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において増加して最大となった後減少しており、

前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最大となる位置から前記第 2 端部まで断面積が増加しながら延びるように配置され、且つ、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第 3 コア層の断面積が最大となる、第 1 のスポットサイズ変換部と、

前記第 1 基板上に配置され、前記第 1 端部に入力され前記スポットサイズ変換部を伝搬して前記第 2 端部から出力される光を発生する光発生部と、

第 2 基板と、

前記第 2 基板上に配置された第 3 クラッド層と、

光を出力する第 3 端部から光を入力する第 4 端部に向かう方向に沿って前記第 3 端部から延びるように、前記第 3 クラッド層上に並んで配置された第 4 コア層及び第 5 コア層と、

前記第 4 コア層と前記第 5 コア層との間で前記第 3 クラッド層上に配置され、前記第 4 コア層及び前記第 5 コア層とは別体であり、前記第 3 端部から前記第 4 端部に向かう方向に沿って前記第 4 端部まで延びる第 6 コア層と、

前記第 4 コア層及び前記第 5 コア層及び前記第 6 コア層上に配置された前記第 4 クラッド層と、を有し、

前記第 4 コア層及び前記第 5 コア層の断面積は、前記第 3 端部から前記第 4 端部に向かう方向において増加して最大となった後減少しており、

前記第 6 コア層は、前記第 3 端部から前記第 4 端部に向かう方向において、前記第 4 コア層及び前記第 5 コア層の断面積が最大となる位置から前記第 4 端部まで断面積が増加しながら延びるように配置され、且つ、前記第 3 端部から前記第 4 端部に向かう方向において、前記第 4 コア層及び前記第 5 コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第 6 コア層の断面積が最大となる、第 2 のスポットサイズ変換部と、

前記第 2 基板上に配置され、前記第 4 端部から入力され前記第 2 のスポットサイズ変換部を伝搬して前記第 3 端部から出力された光を検出する光検出部と、
を備える光送受信器。

【請求項 5】

第 1 クラッド層上に、第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層を断面積が増加して最大となった後減少するように形成すると共に、前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間の前記第 1 クラッド層上に、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層を形成する第 1 工程と、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に第 2 クラッド層を形成する第 2 工程と、

を備え、

前記第 1 工程では、前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最大となる位置から前記第 2 端部まで断面積が増加しながら延びるように且つ前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第 3 コア層の断面積が最大となるように形成される、スポットサイズ変換器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スポットサイズ変換器、光送信器、光受信器、光送受信器及びスポットサイズ変換器の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、光通信分野において基板上に形成された平面光回路（PLC）が用いられている。平面光回路は、光導波路の材料に主として石英系材料を用いて実用化されて来た。例えば、アレイ導波路型回折格子（AWG）又はスプリッター等の平面光回路が、光通信の基幹部品として用いられている。

【0003】

また、最近では能動光素子と受動光素子とを共通のPLC基板上に搭載して、従来よりも小型のシステムを実現しようとする試みが行われている。例えば、化合物半導体アンプ（SOA）が、石英系PLCにハイブリット実装された波長可変光源等の新たな光素子の開発が行われている。

10

【0004】

しかしながら、求められる機能がより複雑で高度になるのに伴って、光平面回路の素子寸法及びその消費電力が増大している。そのため、従来の石英系PLCを用いた光回路の機能又は性能を更に向上することは困難に成って来ている。

【0005】

そこで、シリコン細線導波路又はフォトニック結晶（PC）といったシリコンの微細加工技術を応用して、SOI（Silicon on Insulator）基板上に光導波路を形成する技術の研究が進められている。小型で、低消費電力を特徴とする基幹部品の開発が、シリコンの微細加工技術を用いて検討されている。

20

【0006】

シリコン細線導波路は、シリコンにより形成されるコア層と、SiO₂又はその誘電体により形成されるクラッド層とを有する。ここで、シリコンとSiO₂又はその誘電体との比屈折率差が、PLCのものよりも大きいので、光導波路の幅又は光導波路の曲げ半径をPLCよりも小さくすることが可能となる。従って、シリコンの微細加工技術を用いたシリコン細線導波路の寸法は、従来のPLCの寸法と比較して小さくできる。このようなシリコン細線導波路を用いることにより、寸法の小さな光回路を実現することが可能となる。この理由を、更に以下に説明する。

【0007】

従来の石英系PLCでは、コア層とクラッド層との比屈折率差は高々5%程度であり、その曲げ半径は500μm程度が限界であった。一方、シリコン細線導波路では、その比屈折率差は40%以上になり、その曲げ半径を数ミクロン程度まで小さくできる。しかしながら、比屈折率差を大きくすると、伝播光の単一モード条件を満たすために、コア層の寸法を小さくする必要が生じる。

30

【0008】

そのため、光ファイバ又はその他の導波路素子と、シリコン細線導波路との間のスポットサイズに差異が生じるので、そこに光の結合損失が増大するという問題が生じる。

【0009】

この問題を解決するために、シリコン細線導波路に入力される光のスポットサイズを縮小する方法が提案されている。例えば、入力した光をシリコン細線導波路へ導波する導波路の幅をテーパ状に小さくしていくことが提案されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2004-151700号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかし、スポットサイズを10ミクロンから数ミクロン程度に縮小する領域では、導波路のコア層の幅に対するスポットサイズの感度が高いので、適切な寸法の精度でコア層を

50

製造することが難しいという問題があった。

【 0 0 1 2 】

そして、この問題を解決する為に、テーパ状に幅を狭めた導波路の第 1 のコア層の周囲に、ポリマにより形成される第 2 のコア層を被覆したスポットサイズ変換導波路が提案されている。しかしながら、この方法では、第 1 のコア層の周囲にポリマにより形成される第 2 のコア層を積層し、それを導波路状にエッチング加工する必要がある。そのため、この方法は、第 2 のコア層の膜厚又は膜質（屈折率）の制御、加工精度等に留意すべき点が多く、また製作工程も煩雑であるという問題を有する。

【 0 0 1 3 】

そこで、本明細書では、光の結合損失を低減するスポットサイズ変換器を提供することを目的とする。

10

【 0 0 1 4 】

また、本明細書では、光の結合損失を低減するスポットサイズ変換器を備えた光送信器を提供することを目的とする。

【 0 0 1 5 】

また、本明細書では、光の結合損失を低減するスポットサイズ変換器を備えた光受信器を提供することを目的とする。

【 0 0 1 6 】

また、本明細書では、光の結合損失を低減するスポットサイズ変換器を備えた光送受信器を提供することを目的とする。

20

【 0 0 1 7 】

更に、本明細書では、光の結合損失を低減するスポットサイズ変換器の製造方法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 8 】

本明細書に開示するスポットサイズ変換器の一形態によれば、第 1 クラッド層と、光を入力する第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 1 端部から延びるように、上記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、上記第 1 コア層と上記第 2 コア層との間で上記第 1 クラッド層上に配置され、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層とは別体であり、上記第 1 端部から上記第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層及び上記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、を備える。

30

【 0 0 1 9 】

また、本明細書に開示する光送信器の一形態によれば、基板と、上記基板上に配置された第 1 クラッド層と、光を入力する第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 1 端部から延びるように、上記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、上記第 1 コア層と上記第 2 コア層との間で上記第 1 クラッド層上に配置され、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層とは別体であり、上記第 1 端部から上記第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層及び上記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、を有するスポットサイズ変換部と、上記基板上に配置され、上記第 1 端部に光を出力する光発生部と、を備える。

40

【 0 0 2 0 】

また、本明細書に開示する光受信器の一形態によれば、基板と、上記基板上に配置された第 1 クラッド層と、光を入力する第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 1 端部から延びるように、上記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、上記第 1 コア層と上記第 2 コア層との間で上記第 1 クラッド層上に配置され、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層とは別体であり、上記第 1 端部から上記第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層及び上記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、を有するスポットサイズ変換部と、上記基板上に配置され、上記第 2 端部から入力され上記スポットサイズ変換部を伝搬

50

して上記第 1 端部から出力された光を検出する光検出部と、を備える。

【0021】

また、本明細書に開示する光送受信器の一形態によれば、第 1 基板と、上記第 1 基板上に配置された第 1 クラッド層と、光を入力する第 1 端部から光を出力する第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 1 端部から延びるように、上記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、上記第 1 コア層と上記第 2 コア層との間で上記第 1 クラッド層上に配置され、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層とは別体であり、上記第 1 端部から上記第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層及び上記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、を有する第 1 のスポットサイズ変換部と、上記第 1 基板上に配置され、上記第 1 端部に光を出力する光発生部と、第 2 基板と、上記第 2 基板上に配置された第 3 クラッド層と、光を出力する第 3 端部から光を入力する第 4 端部に向かう方向に沿って上記第 3 端部から延びるように、上記第 3 クラッド層上に並んで配置された第 4 コア層及び第 5 コア層と、上記第 4 コア層と上記第 5 コア層との間で上記第 3 クラッド層上に配置され、上記第 4 コア層及び上記第 5 コア層とは別体であり、上記第 3 端部から上記第 4 端部に向かう方向に沿って上記第 4 端部まで延びる第 6 コア層と、上記第 4 コア層及び上記第 5 コア層及び上記第 6 コア層上に配置された上記第 4 クラッド層と、を有する第 2 のスポットサイズ変換部と、上記第 2 基板上に配置され、上記第 4 端部から入力され上記第 2 のスポットサイズ変換器を伝搬して上記第 3 端部から出力された光を検出する光検出部と、を備える。

【0022】

更に、本明細書に開示するスポットサイズ変換器の製造方法の一形態によれば、第 1 クラッド層上に、第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 1 端部から延びるように、上記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層を形成すると共に、上記第 1 コア層と上記第 2 コア層との間の上記第 1 クラッド層上に、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層とは別体であり、上記第 1 端部から上記第 2 端部に向かう方向に沿って上記第 2 端部まで延びる第 3 コア層を形成し、上記第 1 コア層及び上記第 2 コア層及び上記第 3 コア層上に第 2 クラッド層を形成する。

【発明の効果】

【0023】

上述した本明細書に開示するスポットサイズ変換器の一形態によれば、光の結合損失を低減する。

【0024】

また、上述した本明細書に開示する光送信器の一形態によれば、光の結合損失を低減する。

【0025】

また、上述した本明細書に開示する光受信器の一形態によれば、光の結合損失を低減する。

【0026】

また、上述した本明細書に開示する光送受信器の一形態によれば、光の結合損失を低減する。

【0027】

更に、上述した本明細書に開示するスポットサイズ変換器の製造方法の一形態によれば、光の結合損失を低減するスポットサイズ変換器が得られる。

【0028】

本発明の目的及び効果は、特に請求項において指摘される構成要素及び組み合わせを用いることによって認識され且つ得られるだろう。

【0029】

前述の一般的な説明及び後述の詳細な説明の両方は、例示的及び説明的なものであり、特許請求の範囲に記載されている本発明を制限するものではない。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 0 】

【図 1】本明細書に開示する光素子の第 1 実施形態を示す斜視図である。

【図 2】図 1 に示す光素子の平面図である。

【図 3】図 2 の X 1 - X 1 線断面図である。

【図 4】図 2 の X 2 - X 2 線断面図である。

【図 5】図 2 の X 3 - X 3 線断面図である。

【図 6】図 2 に示す第 1 実施形態の光素子を伝搬するモードフィールドのプロファイルを示す図である。

【図 7】図 2 の X 2 - X 2 線断面におけるモードミスマッチ損失と、第 1 コア層及び第 2 コア層の幅との関係を示す図である。

10

【図 8】図 2 の X 3 - X 3 線断面におけるモードミスマッチ損失と、第 1 コア層及び第 2 コア層の幅との関係を示す図である。

【図 9】本明細書に開示する光素子の第 2 実施形態を示す斜視図である。

【図 10】図 9 に示す光素子の平面図である。

【図 11】図 9 の Y 1 - Y 1 線断面図である。

【図 12】図 9 の Y 2 - Y 2 線断面図である。

【図 13】図 9 の Y 3 - Y 3 線断面図である。

【図 14】本明細書に開示する光送信器の第 1 実施形態を示す図である。

【図 15】本明細書に開示する光送信器の第 2 実施形態を示す図である。

【図 16】本明細書に開示する光送受信器の一実施形態を示す図である。

20

【図 17】本明細書に開示するスポットサイズ変換器の製造方法の一実施形態を示す図である。

【図 18】本明細書に開示するスポットサイズ変換器の他の実施形態を示す図である。

【図 19】本明細書に開示するスポットサイズ変換器のまた他の実施形態を示す図である。

。

【図 20】本明細書に開示するスポットサイズ変換器の更に他の実施形態を示す図である。

。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 1 】

以下、本明細書で開示するスポットサイズ変換部を備えた光素子の好ましい第 1 実施形態を、図を参照して説明する。但し、本発明の技術範囲はそれらの実施形態に限定されず、特許請求の範囲に記載された発明とその均等物に及ぶものである。

30

【 0 0 3 2 】

図 1 は、本明細書に開示する光素子の第 1 実施形態を示す斜視図である。図 2 は、図 1 に示す光素子の平面図である。図 3 は、図 2 の X 1 - X 1 線断面図である。図 4 は、図 2 の X 2 - X 2 線断面図である。図 5 は、図 2 の X 3 - X 3 線断面図である。

【 0 0 3 3 】

本実施形態の光素子 10 は、外部から光を入力し、入力した光のスポットサイズを小さく変換して、小さなスポットサイズを有する光を出力するものである。また、これとは逆に、光素子 10 は、外部から光を入力し、入力した光のスポットサイズを大きく変換して、大きなスポットサイズを有する光を出力する。

40

【 0 0 3 4 】

図 2 に示すように、光素子 10 は、光を入出力する一方の端部 10 d 及び光を出入力する他方の端部 10 e を有する。光素子 10 では、入力した光が、一方の端部 10 d から他方の端部 10 e へ伝搬するか、又は、他方の端部 10 e から一方の端部 10 d へ伝搬する。

。

【 0 0 3 5 】

一方の端部 10 d には、例えば、光ファイバのようなスポットサイズの大きな光を伝搬する他の光素子が光学的に結合される。また、他方の端部 10 e には、例えば、シリコン細線導波路のようなスポットサイズの小さな光を伝搬する他の光素子が光学的に結合され

50

る。

【0036】

光素子10は、一方の端部10dから他方の端部10eに向かって順番に、第1延出部10aと、スポットサイズ変換部10bと、第2延出部10cとを備える。

【0037】

まず、スポットサイズ変換部10bについて以下に説明した後、第1延出部10a及び第2延出部10cについて説明する。

【0038】

スポットサイズ変換部10bは、第1延出部10aとの間で光の入出力を行う第1端部10fと、第2延出部10cとの間で光の入出力を行う第2端部10gとを有する。

10

【0039】

スポットサイズ変換部10bは、半導体の基板11と、基板11上に配置された下クラッド層12とを有する。また、スポットサイズ変換部10bは、光を入出力する第1端部10fから第2端部10gに向かう方向に沿って第1端部10fから延びるように、下クラッド層12上に並んで配置された第1コア層13及び第2コア層14を有する。更に、スポットサイズ変換部10bは、第1コア層13と第2コア層14との間で下クラッド層12上に配置され、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向に沿って第2端部10gまで延びる第3コア層15を有する。第3コア層15は、第1コア層13及び第2コア層14とは別体であり、第1コア層13及び第2コア層14とは離間して形成される。下クラッド層12の屈折率は、第1コア層13及び第2コア層及び第3コア層15の屈折率よりも小さいことが、伝搬する光を各コア層に閉じ込める観点から好ましい。本明細書では、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向は、光素子10を伝搬する光の向きと一致している。

20

【0040】

また、スポットサイズ変換部10bは、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15上に、これらの層を埋め込むように配置された上クラッド層16を有する。上クラッド層16の屈折率は、第1コア層13及び第2コア層及び第3コア層15の屈折率よりも小さいことが、伝搬する光を各コア層に閉じ込める観点から好ましい。図1では、上クラッド層16は、その輪郭だけを鎖線で表している。また、図2では、構造を分かり易くするために、上クラッド層16は示されていない。

30

【0041】

スポットサイズ変換部10bでは、第1端部10fにおいて第1延出部10aから入力した光は、第1コア層13及び第2コア層14を第2端部10gに向かって同時に伝搬して行く。そして、第1コア層13及び第2コア層14を伝搬する光は、途中で第3コア層15に結合して移動していく。このようにして、スポットサイズ変換部10bに入力した光は、第3コア層15を伝搬すると共に光のスポットサイズが小さく変換されていく。そして、第2端部10gでは、小さいスポットサイズを有する光が第3コア層15から第2延出部10cに出力される。

【0042】

また、スポットサイズ変換部10bでは、第2端部10gにおいて第2延出部10cから入力した光は、第3コア層15を第1端部10fに向かって伝搬して行く。そして、第3コア層15を伝搬する光は、途中で第1コア層13及び第2コア層14へ結合して移動していく。このようにして、スポットサイズ変換部10bに入力した光は、第1コア層13及び第2コア層14を同時に伝搬すると共に光のスポットサイズが大きく変換される。そして、第1端部10fでは、大きいスポットサイズを有する光が第1コア層13及び第2コア層14から第1延出部10aに出力される。

40

【0043】

次に、第1コア層13及び第2コア層14について、以下に更に説明する。

【0044】

第1コア層13及び第2コア層14は、別体であり、離間している。第1コア層13及

50

び第2コア層14は、両コア層の間の中心線Lに対して線対称の関係にあることが、両コア層を伝搬する光のモードプロファイルを等しくする上で好ましい。本実施形態では、第1コア層13及び第2コア層14は、中心線Lに対して線対称に形成されている。

【0045】

図3～図5に示すように、第1コア層13と第2コア層14とは、水平方向に離間している。ここで、水平方向は、各層の積層方向と直交し且つ光の伝搬方向と直交する方向である。

【0046】

また、第1コア層13及び第2コア層14は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、コア層の断面積が増加し、最大の値を示した後、減少している。第1コア層13は、所定の長さに亘って最大の断面積の値を示す部分13bを有する。同様に、第2コア層14は、所定の長さに亘って最大の断面積を示す部分14bを有する。

【0047】

本実施形態では、第1コア層13及び第2コア層14の厚さは一定である。従って、第1コア層13及び第2コア層14は、それらの幅が、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、増加して最大の値を示した後、減少している。第1コア層13の最大の断面積の値を示す部分13bの幅は一定であり、第2コア層14の最大の断面積の値を示す部分14bの幅も一定である。ここで、第1コア層13及び第2コア層14の幅は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向に対して直交する向きの寸法である。このことは、後述する第3コア層15の幅に対しても適用される。

【0048】

本実施形態では、第1コア層13及び第2コア層14の幅は、第1端部10fから部分13b、14bに向かう方向において漸増している。

【0049】

また、第1コア層13及び第2コア層14は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、位置13c、14cにおいて最小の断面積を示す。本実施形態では、第1コア層13及び第2コア層14は、位置13c、14cにおいて最小の幅を有する。

【0050】

本実施形態では、第1コア層13及び第2コア層14の幅は、部分13b、14bから第2端部10gに向かって漸減している。

【0051】

次に、第3コア層15について、以下に更に説明する。

【0052】

第3コア層15は、第1コア層13と第2コア層14との間の中央の位置に配置される。

【0053】

第3コア層15は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が最大となる部分13b、14bから第2端部10gに向かって延びるように配置される。第3コア層15は、所定の長さを有する部分13b、14bの何れかの位置を起点としていれば良い。

【0054】

第3コア層15は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が減少している部分で、断面積が増加していることが好ましい。本実施形態では、第3コア層15の厚さは一定であり、第3コア層15の幅は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、第1コア層13及び第2コア層14の幅が減少している部分で漸増し、第2端部10gの付近で最大の幅を示した後、一定の幅を有する。

【0055】

第3コア層15は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が最小値を示す位置で、第3コア層15の断面積が

10

20

30

40

50

最大となることが好ましい。本実施形態では、第3コア層15の幅は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が最小値を示す位置13c、14cで、第3コア層15の断面積が最大となる。

【0056】

第3コア層15と、第1コア層13及び第2コア層14との間の距離は、伝搬する光のモードフィールドが重なるように設定されることが好ましい。

【0057】

次に、第1延出部10aについて、以下に説明する。

【0058】

第1延出部10aは、スポットサイズ変換部10bの第1端部10fから、基板11及び下クラッド層12及び上クラッド層16が外方に延出して、基板11と下クラッド層12と上クラッド層16とが積層されて形成される。

10

【0059】

第1延出部10aには、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15は延出していない。

【0060】

このように、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15を有さない第1延出部10aを設けると、光素子10を上方からドライエッチングして一方の端部10dの端面を形成する際に、上及び下クラッド層12、16と第1～3コア層13、14、15との間のエッチング速度の違いによる形状精度への影響が生じることが防止される。

20

【0061】

次に、第2延出部10bについて、以下に説明する。

【0062】

第2延出部10bは、スポットサイズ変換部10bの第2端部10gから、基板11及び下クラッド層12及び上クラッド層16が外方に延出して、基板11と下クラッド層12と上クラッド層16とが積層されて形成される。

【0063】

また、第2延出部10bでは、第3コア層15が、スポットサイズ変換部10bの第2端部10gから、他方の端部10eまで延出して、第3コア延出部15aを形成する。第3コア延出部15aは、第2端部10gにおける第3コア層15と同じ幅で延びている。

30

【0064】

また、第2延出部10bでは、第1コア層13が、他方の端部10eに向かって、第3コア延出部15aから離れるように延出して、第1コア延出部13aを形成する。第1コア延出部13aは、第2端部10gにおける第1コア層13の幅よりも、その幅が増加しながら延びている。同様に、第2延出部10bでは、第2コア層14が延出して、第2コア延出部14aが形成される。

【0065】

第1コア延出部13aは、光素子10の製造時に、下クラッド層12上に形成された第1コア層13における第2端部10g側の部分が、下クラッド層12から剥がれることを防止する。第2コア延出部14aも同様の働きを有する。なお、このような懸念がない場合には、第1コア延出部13a又は第2コア延出部14aは形成されなくても良い。

40

【0066】

次に、図6を参照して、一方の端部10dに入力した光が光素子10を伝搬する様子を以下に説明する。

【0067】

まず、外部から大きなスポットサイズを有する光が、光素子10の一方の端部10dに入力される。一方の端部10dに入力した光は、第1延出部10aを伝搬して、スポットサイズ変換部10bの第1端部10fに入力される。

【0068】

次に、第1端部10fに入力した光は、水平方向に離間した第1コア層13及び第2コ

50

ア層 1 4 を伝搬して行く。

【 0 0 6 9 】

図 6 は、図 2 の X 1 - X 1 線断面における伝搬する光のフィールドのモードプロファイル 2 0 を示す。また、図 2 の X 1 - X 1 線断面は、図 3 に示される。図 6 に示す伝搬する光のフィールドの各モードプロファイルは、マックスウェル方程式を、所定の境界値条件の下で有限要素法を用いて数値計算により解いた結果である。モードプロファイル 2 0 では、一の環状の線が同じ電界強度の分布を示しており、内側の環状の線程、強い電界強度を有する。この説明は、図 6 の他のモードプロファイルに対しても適用される。

【 0 0 7 0 】

スポットサイズ変換部 1 0 b の第 1 端部 1 0 f では、水平方向に離間した第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 を同時に伝搬する光のフィールドのモードプロファイル 2 0 の外形は、一つの扁平な楕円形を有している。

10

【 0 0 7 1 】

一方、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 を伝搬する光のフィールドは、垂直方向における拡がり、水平方向の拡がり比べて抑えられている。ここで、光のフィールドの垂直方向は、水平方向と直交する方向である。

【 0 0 7 2 】

また、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 それぞれの幅が狭いので、それぞれのコア層から伝搬する光のフィールドが、上及び下クラッド層 1 2 , 1 6 内に大きく浸みだしている。

20

【 0 0 7 3 】

水平方向に離間した第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 の各コア層の寸法及び両層の間隔は、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 を伝搬する光が、光の伝搬の単一モードを形成するように設定されることが好ましい。

【 0 0 7 4 】

次に、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 を伝搬する光は、第 1 端部 1 0 f から第 2 端部 1 0 g に向かって進むにつれて、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 の断面積が増加すると共に、各コア層に閉じ込められて分離して行く。

【 0 0 7 5 】

図 6 は、図 2 の X 2 - X 2 線断面における伝搬する光のフィールドのモードプロファイル 2 1 を示す。図 2 の X 2 - X 2 線断面は、図 4 に示される。

30

【 0 0 7 6 】

第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 における最大の断面積を示す部分 1 3 b、1 4 b では、伝搬する光のフィールドのモードプロファイル 2 1 が 2 つの部分 2 1 a、2 1 b にほぼ分かれて、それぞれのコア層内に閉じ込められている。

【 0 0 7 7 】

この時、2 つの部分 2 1 a、2 1 b の間の中央部 2 1 c では、伝搬する光のフィールドの浸みだしが少なくなっている。そして、第 3 コア層 1 5 の起点は、この中央部 2 1 c に位置している。

【 0 0 7 8 】

40

このように、第 3 コア層 1 5 の起点を中央部 2 1 c に配置すると、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 を伝搬するそれぞれの光が、第 3 コア層 1 5 の出現を感じることを抑えることができる。そのため、第 3 コア層 1 5 の出現が、2 つの分離した光のフィールドに与える影響を少なくできる。

【 0 0 7 9 】

ここで、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 の間隔が広い程、両コア層の間の中央部における光のフィールドの強度を低減できる。しかし、第 1 端部 1 0 f から第 2 端部 1 0 g に向かう方向において、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 の間隔の変化が少ない方が、伝搬する光の損失を抑えて 1 つの光のフィールドプロファイルを 2 つに分離させることができる。この観点から、第 1 コア層 1 3 及び第 2 コア層 1 4 の間隔を広げることが制限を受

50

ける。

【0080】

次に、第1コア層13及び第2コア層14を伝搬する光は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向に沿って進むにつれて、次第に第3コア層15に結合する割合が増加し、光のスポットサイズが縮小していく。これは、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が、部分13a、14bから第2端部10gに向かって減少していく一方で、第3コア層15の断面積は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において増加していくためである。第1コア層13及び第2コア層14を伝搬する光のフィールドは、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が減少すると共に、外側に浸みだしていく。そして、外側に浸みだした光のフィールドは、断面積が増加していく第3コア層15に結合されていく。

10

【0081】

第1コア層13及び第2コア層14を伝搬する光が、第3コア層15に結合することを促進する観点から、第3コア層15の屈折率は、第1コア層13及び第2コア層14よりも高くすることが好ましい。また、光素子10を製造する観点からは、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15を同じ材料を用いて形成しても良い。

【0082】

そして、第1コア層13及び第2コア層14を伝搬する光は、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が最小となる位置13c、14cにおいて、第3コア層15にほぼ完全に移動する。第3コア層15は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、位置13c、14cにおいて最大の断面積を示す。なお、第3コア層15は、第2端部10gの付近では、所定の長さにはわたって、最大の断面積を有している。

20

【0083】

図6は、図2のX3-X3線断面における伝搬する光のフィールドのモードプロファイル22を示す。図2のX3-X3線断面は、図5に示される。スポットサイズ変換部10bを伝搬する光のフィールドは、第3コア層15を中心に分布している。

【0084】

このようにして、スポットサイズ変換部10bの第2端部10gから出力される光のスポットサイズが、第1端部10fから入力された寸法よりも小さく変換される。

【0085】

30

上述したスポットサイズ変換部10bを伝搬する光は、第3コア層15が出現する位置と、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が最小となる位置13c、14cにおいて、光学的に不連続な状態が生じる。次に、光学的に不連続な状態が生じる2カ所それぞれに対して、光学的に不連続な状態により生じ得るモードミスマッチを低減することについて、以下に説明する。

【0086】

図7は、図2のX2-X2線断面におけるモードミスマッチ損失と、第1コア層及び第2コア層の幅との関係を示す図である。図2のX2-X2線は、第3コア層15が出現する位置に対応する。図7は、マクスウェル方程式を、所定の境界値条件の下で有限要素法を用いて数値計算により解いた結果である。ここで、図2のX2-X2線における第3コア層15の幅は、100nmとした。

40

【0087】

図7の計算結果から、第1コア層13及び第2コア層14の幅を、第3コア層15の幅に対して、3倍以上(ここでは、300nm以上)、特に4倍以上(ここでは、400nm以上)にすることが、モードミスマッチ損失による伝搬する光の過剰損失を0.01dB以下に低減する上で好ましいことが分かる。

【0088】

図8は、図2のX3-X3線断面におけるモードミスマッチ損失と、第1コア層及び第2コア層の幅との関係を示す図である。図2のX3-X3線は、第1コア層13及び第2コア層14の断面積が最小となる位置13c、14cに対応する。図8は、マクスウェ

50

ル方程式を、所定の境界値条件の下で有限要素法を用いて数値計算により解いた結果である。ここで、図2のX3 - X3線における第3コア層15の幅は、480nmとした。

【0089】

図8の計算結果から、第1コア層13及び第2コア層14の幅を、第3コア層15の幅に対して、1/4以下(ここでは、120nm以下)、特に1/6以下(ここでは、80nm以下)にすることが、モードミスマッチ損失による伝搬する光の過剰損失を0.005dB以下に低減する上で好ましいことが分かる。

【0090】

また、スポットサイズ変換部10gにおいて、光が第2端部10gから入力されて第1端部10fから出力される場合には、第3コア層15を伝搬する光が、第1コア層13及び第2コア層14に結合して移動することになる。この場合には、光素子10を伝搬する光の伝搬方向が逆向きとなり、入力された光のスポットサイズが大きく変換されて出力されるが、伝搬する光のフィールドプロファイルに関する説明については、上述した図6を用いた説明が適宜適用される。

【0091】

次に、本実施形態の光素子10の形成材料について、以下に説明する。

【0092】

基板11としては、例えば、シリコン基板を用いることができる。また、下クラッド層12としては、例えば、酸化ケイ素(SiO₂)又はポリマ等の誘電体を用いることができる。第1コア層13、第2コア層14又は第3コア層15としては、例えば、シリコンを用いることができる。また、上クラッド層16としては、酸化ケイ素(SiO₂)等の誘電体又はポリマ等の誘電体を用いることができる。

【0093】

また、SOI基板を用いれば、SOI基板のシリコン基板を用いて基板11を形成し、SOI基板の絶縁層を用いて下クラッド層12を形成し、SOI基板のシリコン層を用いて第1コア層13、第2コア層14及び第3コア層15を容易に形成することができる。また、光素子10は、このようなシリコン半導体材料を用いれば、シリコン半導体の微細加工技術を用いて形成することができる。

【0094】

上述した本実施形態の光素子10によれば、光の結合損失を低減できる。光素子10のスポットサイズ変換部10bは、光の伝搬方向に沿ってそのフィールド径を断熱的(パワー損失を殆ど伴わずに)に変化させるので、第1コア層13及び第2コア層14と、第3コア層15との間の光の結合損失が低減される。そこで、このような光素子10を用いて、光のスポットサイズを変換することにより、例えば、光ファイバとシリコン細線導波路との間の光結合を効率良く行うことが可能となる。一方、従来のY分岐構造を有するスポットサイズ変換器では、その分岐部に起因する反射等による光の損失が生じるので、光の結合損失を低減することには限界があった。しかし、本実施形態の光素子10によれば、この従来の限界を超えて、光の結合損失を低減できる。

【0095】

また、本実施形態の光素子10では、第1コア層13及び第2コア層14を水平方向に離間して配置するので、光のスポットサイズの水平方向の寸法と垂直方向の寸法とを、ある程度独立して制御することができる。上述した光素子10が、例えば、光変調器又は受光素子等の他の素子と共に集積された光集積素子では、製造工程の簡便化、低コスト化等の観点から上クラッド層を可能な限り薄膜化することが求められる。この場合に、光のスポットサイズを拡大する時には、垂直方向の拡大を水平方向の拡大に対して抑制することが求められる。このようなスポットサイズの変換を、従来の1つのコア層を用いた構造で実現することは困難であった。一方、本実施形態の光素子10は、光の結合損失を抑えると共に、このような要求を満足することができる。従って、本実施形態の光素子10によれば、上クラッド層の膜厚に制限のある光集積素子において、結合損失の少ない入出力導波路を実現できる。

10

20

30

40

50

【0096】

また、本実施形態の光素子10は、水平方向に離間した第1コア層13及び第2コア層14を用いているので、第1コア層13及び第2コア層14それぞれの断面積（又は幅）に対する精度の製造許容範囲を拡げることができる。これは、第1コア層13及び第2コア層14それぞれの断面積（又は幅）の製造誤差が生じて、第1コア層13と第2コア層14との間の間隔に対する影響が小さいためである。従って、本実施形態の光素子10は、製造歩留まりを向上させ、コストの低減を図ることができる。

【0097】

次に、上述したスポットサイズ変換部の第2実施形態を、図9～図13を参照しながら以下に説明する。他の実施形態について特に説明しない点については、上述の第1実施形態に関して詳述した説明が適宜適用される。また、同一の構成要素には同一の符号を付してある。

10

【0098】

図9は、本明細書に開示する光素子の第2実施形態を示す斜視図である。図10は、図9に示す光素子の平面図である。図11は、図9のY1-Y1線断面図である。図12は、図9のY2-Y2線断面図である。図13は、図9のY3-Y3線断面図である。

【0099】

本実施形態の光素子30は、一方の端部30dから他方の端部30eに向かって順番に、第1延出部30aと、スポットサイズ変換部30bと、第2延出部30cとを備える。

【0100】

20

スポットサイズ変換部30bは、第1延出部30aとの間で光の入出力を行う第1端部30fと、第2延出部30cとの間で光の入出力を行う第2端部30gとを有する。

【0101】

本実施形態の光素子30は、上述した第1実施形態とは、第1コア層33、第2コア層34及び第3コア層35の形状が異なっている。

【0102】

第1コア層33及び第2コア層34は、第1端部30fから第2端部30gに向かう方向において、断面積が一定であるか又は減少していることが好ましい。本実施形態では、第1コア層33及び第2コア層34は、第1端部30fから第2端部30gに向かう方向において、断面積が減少している。また、本実施形態では、第1コア層33及び第2コア層34の厚さは一定であり、第1コア層33及び第2コア層34は、第1端部30fから第2端部30gに向かう方向において、幅が漸減している。

30

【0103】

第3コア層15は、第1端部30fから第2端部10gまで延びるように、第1コア層13と第2コア層14との間の中央において下クラッド層12上に配置されている。第3コア層15は、第1端部30fから第2端部10gに向かう方向において、第1コア層33及び第2コア層34と同じ位置から、第2端部10gに向かって並んで延びている。

【0104】

第3コア層15の断面積は、第1端部10fから第2端部10gに向かって増加し、第2端部30gの付近で最大の断面積を示した後、一定の断面積を有する。本実施形態では、第3コア層15の厚さは一定であり、第3コア層15の幅は、第1端部10fから第2端部10gに向かって増加し、第2端部30gの付近で最大の幅を示した後、一定の幅を有する。

40

【0105】

本実施形態では、外部から大きなスポットサイズを有する光が、光素子30の一方の端部30dに入力される。一方の端部30dに入力した光は、第1延出部30aを伝搬して、スポットサイズ変換部30bの第1端部30fに入力される。次に、第1端部30fに入力した光は、水平方向に離間して配置される第1コア層33及び第2コア層34及び第3コア層35を伝搬して行く。

【0106】

50

第1コア層33及び第2コア層34を伝搬する光は、第1端部30fから第2端部30gに向かって進むにつれて、次第に第3コア層35に結合する割合が増加し、光のスポットサイズが縮小していく。これは、第1コア層33及び第2コア層34の断面積（又は幅）が、第1端部30fから第2端部30gに向かって減少していく一方で、第3コア層35の断面積（又は幅）は、第1端部30fから第2端部30gに向かって増加していくためである。

【0107】

そして、第1コア層33及び第2コア層34を伝搬する光は、第1コア層33及び第2コア層34の断面積（又は幅）が最小となる位置33c、34cにおいて、第3コア層35にほぼ完全に移動する。第3コア層35は、第1端部30fから第2端部30gに向かう方向において、位置33c、34cにおいて最大の断面積（又は幅）を示す。

10

【0108】

このようにして、スポットサイズ変換部30bの第2端部30gから出力される光のスポットサイズは、第1端部30fから入力された寸法よりも小さく変換される。

【0109】

本実施形態の第1延出部30a及び第2延出部30bの構造は、上述した第1実施形態と同様である。

【0110】

上述した本実施形態のスポットサイズ変換器によれば、光学的に不連続な状態が生じる位置の数が、第1実施形態よりも減少しているので、光の結合損失を更に低減できる。これは、本実施形態では、光学的に不連続な状態が生じる位置が、第1コア層33及び第2コア層34の断面積（又は幅）が最小となる位置33c、34cの一カ所になっているからである。

20

【0111】

また、本実施形態のスポットサイズ変換器によれば、上述した第1実施形態と同様の効果が得られる。

【0112】

次に、本明細書に開示するスポットサイズ変換部を有する光送信器について、以下に説明する。

【0113】

30

図14は、本明細書に開示する光送信器の第1実施形態を示す図である。

【0114】

本実施形態の光送信器40は、基板11上に配置されたスポットサイズ変換部41aを有する光素子41と、同じ基板11上に配置され、光素子41の一方の端部41bに光を出力する光発生部42と、を備える。

【0115】

光素子41は、基板11上に配置された下クラッド層12と、下クラッド層12上に配置された第1コア層13と、第2コア層14と、第3コア層15とを有する。光素子41の構造は、上述した光素子の第1実施形態と同様である。

【0116】

40

光発生部42としては、例えば、半導体レーザを用いることができる。

【0117】

光送信器40では、光発生部42が出力した光が、光素子41の一方の端部41bに入力され、一方の端部41bに入力した光は、スポットサイズ変換部41aを伝搬しながら小さなスポットサイズに変換されて、他方の端部41cから外部に出力される。

【0118】

上述した本実施形態の光送信器によれば、光の結合損失を抑えて、光発生部42で発生した光のスポットサイズを小さく変換して出力できる。

【0119】

図15は、本明細書に開示する光送信器の第2実施形態を示す図である。

50

【 0 1 2 0 】

本実施形態の光送信器 5 0 は、基板 1 1 上に並んで配置された複数の光素子 5 1 a、5 1 b、5 1 c を備えている。各光素子 5 1 a、5 1 b、5 1 c は、光の伝搬方向を一致させて、横に並べられている。各光素子 5 1 a、5 1 b、5 1 c は、スポットサイズ変換部を有しており、上述した光素子の第 1 実施形態と同様の構造を有する。

【 0 1 2 1 】

また、光送信器 5 0 は、各光素子 5 1 a、5 1 b、5 1 c に対応した光発生部 5 2 a、5 2 b、5 2 c を有している。各光素子 5 1 a、5 1 b、5 1 c には、対応する光発生部が出力した光が入力される。複数の光発生部 5 2 a、5 2 b、5 2 c も、基板 1 1 上に配置されている。

10

【 0 1 2 2 】

上述した本実施形態の光送信器によれば、光のスポットサイズを小さく変換した光信号を並列に出力することができる。

【 0 1 2 3 】

次に、本明細書に開示するスポットサイズ変換部を有する光送受信器について、以下に説明する。

【 0 1 2 4 】

図 1 6 は、本明細書に開示する光送受信器の一実施形態を示す図である。

【 0 1 2 5 】

本実施形態の光送受信器 6 0 は、基板 1 1 上に配置されたスポットサイズ変換部 6 1 a を有する第 1 光素子 6 1 と、同じ基板 1 1 上に配置され、第 1 光素子 6 1 の一方の端部 6 1 b に光を出力する光発生部 6 2 と、を備える。第 1 光素子 6 1 の構造は、上述した光素子の第 1 実施形態と同様である。

20

【 0 1 2 6 】

そして、第 1 光素子 6 1 によってスポットサイズが小さく変換された光は、その他方の端部 6 1 c から、下クラッド層 1 2 上に配置されたシリコン細線導波路 6 0 a に入力される。シリコン細線導波路 6 0 a に入力した光は、シリコン細線導波路 6 0 a を伝搬して、光変調部 6 3 に入力する。光変調部 6 3 としては、例えば、マッハツェンダ型の変調器を用いることができる。

【 0 1 2 7 】

光変調部 6 3 は、入力した光を変調して、下クラッド層 1 2 上に配置されたシリコン細線導波路 6 0 b に出力する。シリコン細線導波路 6 0 b は、入力した光を出力部 6 4 に伝搬する。

30

【 0 1 2 8 】

出力部 6 4 は、入力した光を外部に出力する。

【 0 1 2 9 】

また、光送受信器 6 0 は、外部からの光を入力する入力部 6 7 を有する。

【 0 1 3 0 】

入力部 6 7 が入力した光は、下クラッド層 1 2 上に配置されたシリコン細線導波路 6 0 c を伝搬する。シリコン細線導波路 6 0 c を伝搬した光は、後述する第 2 光素子 6 6 の他方の端部 6 6 c に入力する。

40

【 0 1 3 1 】

また、光送受信器 6 0 は、基板 1 1 上に配置されたスポットサイズ変換部 6 6 a を有する第 2 光素子 6 6 と、同じ基板 1 1 上に配置され、他方の端部 6 6 c から入力されスポットサイズ変換部 6 6 a を伝搬して、第 2 光素子 6 6 の一方の端部 6 6 b から出力された光を検出する光検出部 6 5 を有する。第 2 光素子 5 6 は、第 1 光素子 5 1 と同じ上クラッド層 1 6 を有する。

【 0 1 3 2 】

シリコン細線導波路 6 0 c を伝搬した光は、第 2 光素子 6 6 のスポットサイズ変換部 6 6 a によって、スポットサイズが大きく変換されて、光検出部 6 5 に入力する。

50

【0133】

上述した本実施形態の光送受信器によれば、光の結合損失を抑えて、光発生部62で発生した光のスポットサイズを小さく変換して出力でき、且つ、光の結合損失を抑えて、入力した光のスポットサイズを大きく変換して検出することができる。

【0134】

次に、上述したスポットサイズ変換器の製造方法の好ましい一実施形態について、図を参照しながら、以下に説明する。

【0135】

本実施形態は、上述した光素子の第1実施形態におけるスポットサイズ変換部の製造方法を説明する。

10

【0136】

まず、図17(A)に示すように、コア層17と下クラッド層12とが積層された半導体の基板11のコア層17上に、シリコンの微細加工技術を用いて、マスク70, 71, 72が形成される。本実施形態では、コア層17と下クラッド層12とが積層された半導体の基板11として、SOI(Silicon On Insulator)を用いた。従って、基板11は、シリコン基板であり、下クラッド層12は酸化ケイ素(SiO_2)層であり、コア層17は、単結晶シリコン層である。なお、コア層17の形成材料は、多結晶又はアモルファスでも良い。また、下クラッド層12の形成材料として、酸化ケイ素(SiO_2)以外の材料を用いても良く、例えばポリマを用いても良い。マスク70, 71, 72それぞれは、上述した光素子の第1実施形態における第1コア層、第2コア層、第3コア層に対応する形状を有する。マスク70, 71, 72それぞれは、別体として形成される。なお、本実施形態では、上述した光素子の第1実施形態の第1延出部が形成されるように、マスク70, 71, 72の端部が、下クラッド層12の端縁よりも内側に配置されている。

20

【0137】

次に、図17(B)に示すように、シリコンの微細加工技術を用いて、マスク70, 71, 72をマスクとして、コア層17がエッチングされて、下クラッド層12の表面が露出する。そして、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15が、下クラッド層12上に形成される。第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15それぞれは、別体として形成される。

30

【0138】

次に、図17(C)に示すように、マスク70, 71, 72が第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15から除去される。

【0139】

そして、図17(D)に示すように、シリコンの微細加工技術を用いて、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15上に、これらの層を埋め込むように上クラッド層16が形成される。本実施形態では、上クラッド層16の形成材料として、酸化ケイ素(SiO_2)を用いた。また、上クラッド層16の形成材料として、酸化ケイ素(SiO_2)以外の材料を用いても良く、例えばポリマを用いても良い。

40

【0140】

上述した本実施形態の製造方法によれば、シリコンの微細加工技術を用いて、光素子を製造することができる。また、本実施形態では、光素子のコア層を一種類の材料で形成しており、従来のように酸化窒化膜又はポリマ等を用いた複合的なコア構造を形成することが不要となるので、製造工程の数を削減することができる。従って、製造工程の簡便化によるコストを低減できる。

【0141】

また、上述した本実施形態の製造方法では、マスクの形状を変更することにより、例えば、上述した光素子の第2実施形態のスポットサイズ変換部を製造することもできる。

【0142】

本発明では、上述したスポットサイズ変換器、光送信器、光受信器、光送受信器及びス

50

ポットサイズ変換器の製造方法は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更が可能である。また、一の実施形態が有する構成要件は、他の実施形態にも適宜適用することができる。

【0143】

例えば、上述した第1実施形態の光素子では、スポットサイズ変換部と共に第1延出部及び第2延出部が配置されていたが、光素子は、図18に示すように、第1延出部及び第2延出部が配置されていなくても良い。図18に示す光素子10は、上述した第1実施形態の光素子のスポットサイズ変換部10bと同様の構成を有する。具体的には、図18に示す光素子10は、下クラッド層12と、光を入出力する第1端部10fから第2端部10gに向かう方向に沿って第1端部10fから延びるように、下クラッド層12上に並んで配置された第1コア層13及び第2コア層14と、を備える、また、光素子10は、第1コア層13と第2コア層14との間で下クラッド層12上に配置され、第1コア層13及び第2コア層14とは別体であり、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向に沿って第2端部10gまで延びる第3コア層15と、第1コア層13及び第2コア層14及び第3コア層15上に配置された上クラッド層（図示せず）と、を備える。特に、コア層13，14，15と下クラッド層又は上クラッド層のエッチング選択性が小さい場合には、第1延出部を設けなくても、エッチング速度の違いによる形状精度への影響が小さい。

10

【0144】

同様に、上述した第2実施形態の光素子は、図19に示すように、第1延出部及び第2延出部が配置されていなくても良い。図19に示す光素子30は、上述した第2実施形態の光素子のスポットサイズ変換部30bと同様の構成を有する。

20

【0145】

また、上述した第1実施形態では、第1コア層13及び第2コア層14が、第1端部10fから第2端部10gに亘って配置されていたが、第1コア層13及び第2コア層14は、第1端部10fから第2端部10gに向かう方向において、第2端部10gの手前まで配置されていれば良い。また、上述したスポットサイズ変換器の第2実施形態では、第1コア層33及び第2コア層34が、光素子30における第1端部30fから第2端部30gに向かう方向において、断面積又は幅が減少していた。しかし、図20に示すように、光素子80は、第1コア層83及び第2コア層84が、光素子80における一方の端部80aから他方の端部80bに向かう方向において、第1コア層83及び第2コア層84の断面積又は幅を一定にして、第1コア層83と第3コア層85との間の距離を増加させると共に、第2コア層84と第3コア層85との間の距離を増加させるようにしても良い。

30

【0146】

また、上述した光送受信器では、スポットサイズ変換部を有する光受信器が、光送信器と一体に形成されていたが、スポットサイズ変換部を有する光受信器は、独立した光素子であっても良い。更に、上述した光送受信器では、光送信器と光受信器とが同じ基板上に配置され、且つ上クラッド層及び下クラッド層が一体に形成されていたが、光送信器と光受信器とが別の基板上に配置され、上クラッド層及び下クラッド層が別体に形成されていても良い。

40

【0147】

ここで述べられた全ての例及び条件付きの言葉は、読者が、発明者によって寄与された発明及び概念を技術を深めて理解することを助けるための教育的な目的を意図する。ここで述べられた全ての例及び条件付きの言葉は、そのような具体的に述べられた例及び条件に限定されることなく解釈されるべきである。また、明細書のそのような例示の機構は、本発明の優越性及び劣等性を示すこととは関係しない。本発明の実施形態は詳細に説明されているが、その様々な変更、置き換え又は修正が本発明の精神及び範囲を逸脱しない限り行われ得ることが理解されるべきである。

【0148】

50

以上の上述した各実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

【 0 1 4 9 】

(付記 1)

第 1 クラッド層と、

光を入出力する第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、

前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド層と、
を備えるスポットサイズ変換器。 10

【 0 1 5 0 】

(付記 2)

前記第 3 コア層は、前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間の中央に配置される付記 1 に記載のスポットサイズ変換器。

【 0 1 5 1 】

(付記 3)

前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、断面積が増加する付記 1 又は 2 に記載のスポットサイズ変換器。 20

【 0 1 5 2 】

(付記 4)

前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最小値を示す位置で、前記第 3 コア層の断面積が最大となる付記 3 に記載のスポットサイズ変換器。

【 0 1 5 3 】

(付記 5)

前記第 3 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層の断面積が最大となる位置から前記第 2 端部まで延びるように配置される付記 3 又は 4 に記載のスポットサイズ変換器。 30

【 0 1 5 4 】

(付記 6)

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層は、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向において、断面積が一定であるか又は減少する付記 1 ～ 4 の何れか一項に記載のスポットサイズ変換器。

【 0 1 5 5 】

(付記 7)

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層は、両コア層の間の中心線に対して線対称の関係にある付記 1 ～ 6 の何れか一項に記載のスポットサイズ変換器。

【 0 1 5 6 】

(付記 8)

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層の厚さは一定である付記 1 ～ 7 の何れか一項に記載のスポットサイズ変換器。 40

【 0 1 5 7 】

(付記 9)

前記第 1 端部から、前記第 1 クラッド層及び前記第 2 クラッド層が延出しており、前記第 1 クラッド層と前記第 2 クラッド層とが積層された延出部が形成される付記 1 ～ 8 の何れか一項に記載のスポットサイズ変換器。

【 0 1 5 8 】

(付記 1 0)

基板と、
前記基板上に配置された第 1 クラッド層と、
光を入力する第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるよ
うに、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、
前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第
1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方
向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、
前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド
層と、を有するスポットサイズ変換部と、
前記基板上に配置され、前記第 1 端部に光を出力する光発生部と、
を備える光送信器。

10

【 0 1 5 9 】

(付 記 1 1)

基板と、
前記基板上に配置された第 1 クラッド層と、
光を入力する第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるよ
うに、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層と、
前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第
1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方
向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、
前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド
層と、を有するスポットサイズ変換部と、
前記基板上に配置され、前記第 2 端部から入力され前記スポットサイズ変換器を伝搬し
て前記第 1 端部から出力された光を検出する光検出部と、
を備える光受信器。

20

【 0 1 6 0 】

(付 記 1 2)

第 1 基板と、
前記第 1 基板上に配置された第 1 クラッド層と、
光を入力する第 1 端部から光を出力する第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部
から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層
と、
前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間で前記第 1 クラッド層上に配置され、前記第
1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方
向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層と、
前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に配置された第 2 クラッド
層と、を有する第 1 のスポットサイズ変換部と、
前記第 1 基板上に配置され、前記第 1 端部に光を出力する光発生部と、
第 2 基板と、
前記第 2 基板上に配置された第 3 クラッド層と、
光を出力する第 3 端部から光を入力する第 4 端部に向かう方向に沿って前記第 3 端部
から延びるように、前記第 3 クラッド層上に並んで配置された第 4 コア層及び第 5 コア層
と、
前記第 4 コア層と前記第 5 コア層との間で前記第 3 クラッド層上に配置され、前記第
4 コア層及び前記第 5 コア層とは別体であり、前記第 3 端部から前記第 4 端部に向かう方
向に沿って前記第 4 端部まで延びる第 6 コア層と、
前記第 4 コア層及び前記第 5 コア層及び前記第 6 コア層上に配置された前記第 4 クラ
ッド層と、を有する第 2 のスポットサイズ変換部と、
前記第 2 基板上に配置され、前記第 4 端部から入力され前記第 2 のスポットサイズ変換
器を伝搬して前記第 3 端部から出力された光を検出する光検出部と、

30

40

50

を備える光送受信器。

【 0 1 6 1 】

(付 記 1 3)

第 1 クラッド層上に、第 1 端部から第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 1 端部から延びるように、前記第 1 クラッド層上に並んで配置された第 1 コア層及び第 2 コア層を形成すると共に、前記第 1 コア層と前記第 2 コア層との間の前記第 1 クラッド層上に、前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層とは別体であり、前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かう方向に沿って前記第 2 端部まで延びる第 3 コア層を形成し、

前記第 1 コア層及び前記第 2 コア層及び前記第 3 コア層上に第 2 クラッド層を形成するスポットサイズ変換器の製造方法。

10

【 符号の説明 】

【 0 1 6 2 】

- 1 0 光素子
- 1 0 a 第 1 延出部
- 1 0 b スポットサイズ変換部
- 1 0 c 第 2 延出部
- 1 1 基板
- 1 2 下クラッド層 (第 1 クラッド層)
- 1 3 第 1 コア層
- 1 3 a 第 1 コア延出部
- 1 4 第 2 コア層
- 1 4 a 第 2 コア延出部
- 1 5 第 3 コア層
- 1 5 a 第 3 コア延出部
- 1 6 上クラッド層 (第 2 クラッド層)
- 2 0 伝搬するフィールドのモードプロファイル
- 2 1 伝搬するフィールドのモードプロファイル
- 2 2 伝搬するフィールドのモードプロファイル
- 3 0 光素子
- 3 0 a 第 1 延出部
- 3 0 b スポットサイズ変換部
- 3 0 c 第 2 延出部
- 3 3 第 1 コア層
- 3 3 a 第 1 延出部
- 3 4 第 2 コア層
- 3 4 a 第 2 延出部
- 3 5 第 3 コア層
- 4 0 光送信器
- 4 1 光素子
- 4 1 a スポットサイズ変換部
- 4 2 光発生部
- 5 0 光送信器
- 5 1 a、5 1 b、5 1 c 光素子
- 5 2 a、5 2 b、5 2 c 光発生部
- 6 0 光送受信器
- 6 1 第 1 光素子
- 6 1 a スポットサイズ変換部
- 6 2 光発生部
- 6 3 光変調部
- 6 4 出力部

20

30

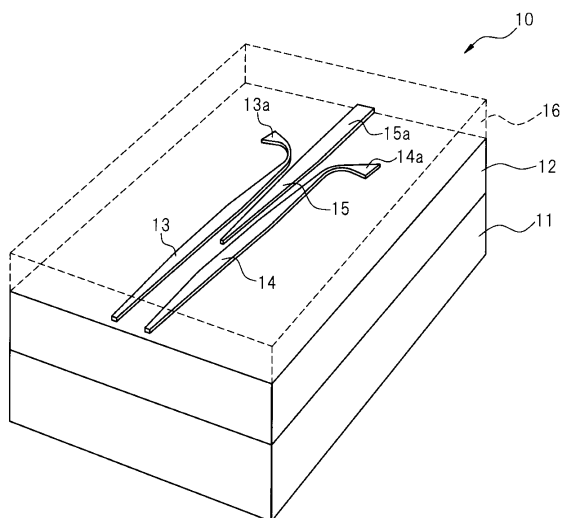
40

50

- 6 5 光検出部
- 6 6 第2光素子
- 6 6 a スポットサイズ変換部
- 6 7 入力部
- 7 0、7 1、7 2 マスク
- 8 0 スポットサイズ変換器
- 8 3 第1コア層
- 8 4 第2コア層
- 8 5 第3コア層

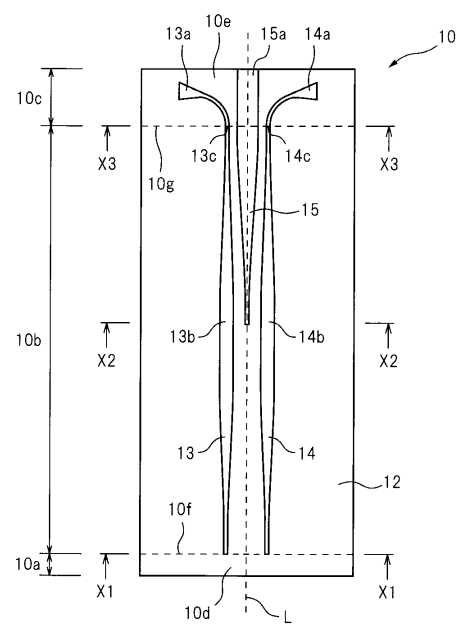
【図1】

図1



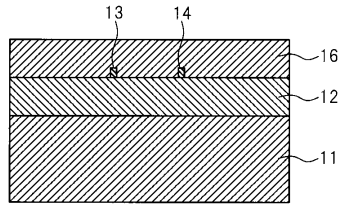
【図2】

図2



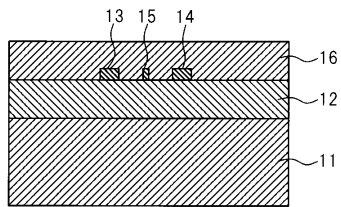
【図 3】

図3



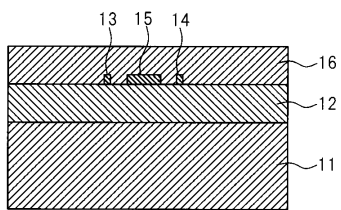
【図 4】

図4



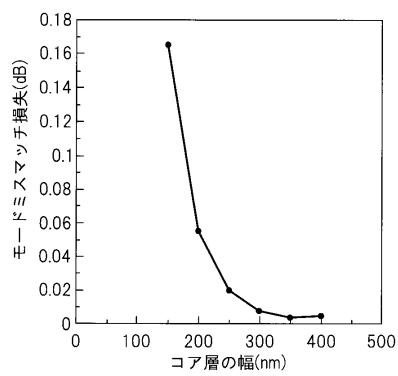
【図 5】

図5



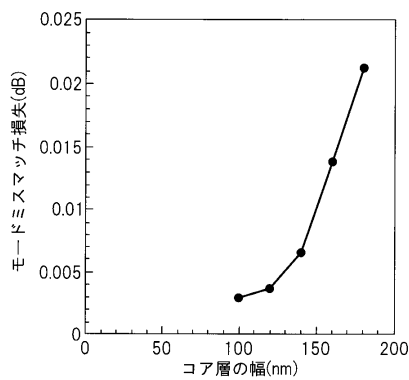
【図 7】

図7



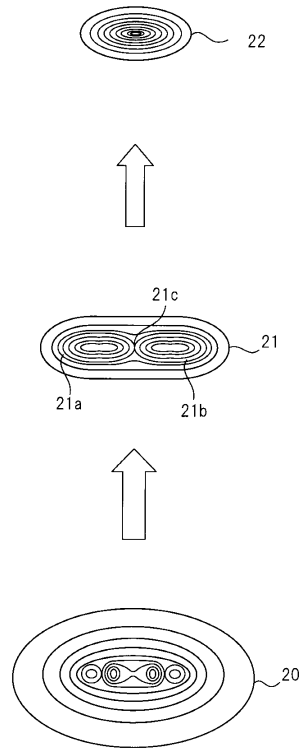
【図 8】

図8



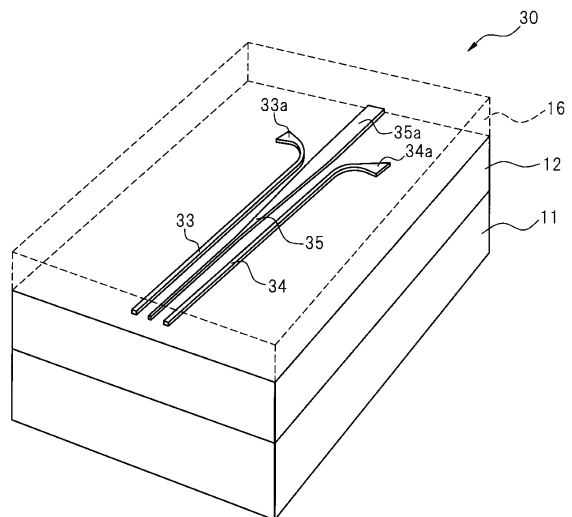
【図 6】

図6



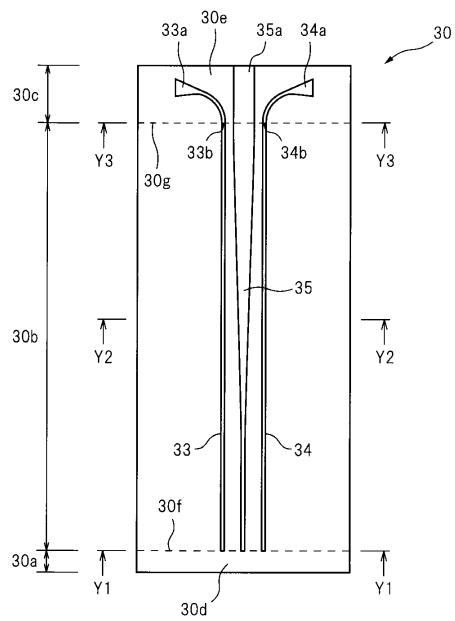
【図 9】

図9



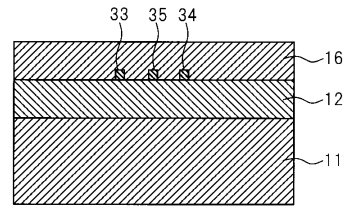
【図10】

図10



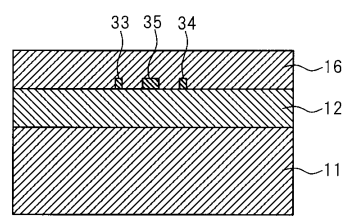
【図11】

図11



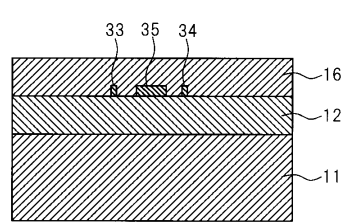
【図12】

図12



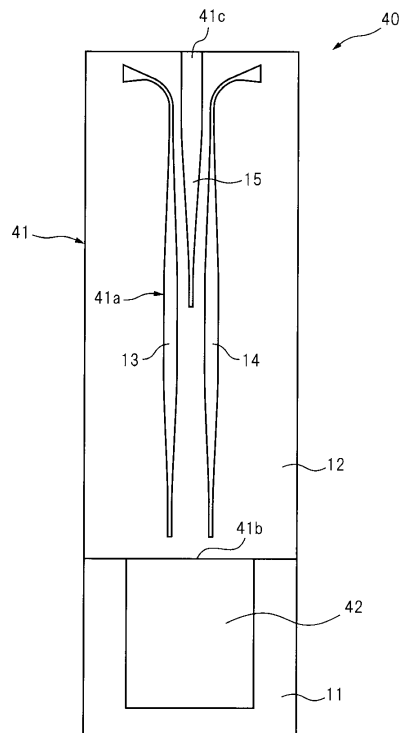
【図13】

図13



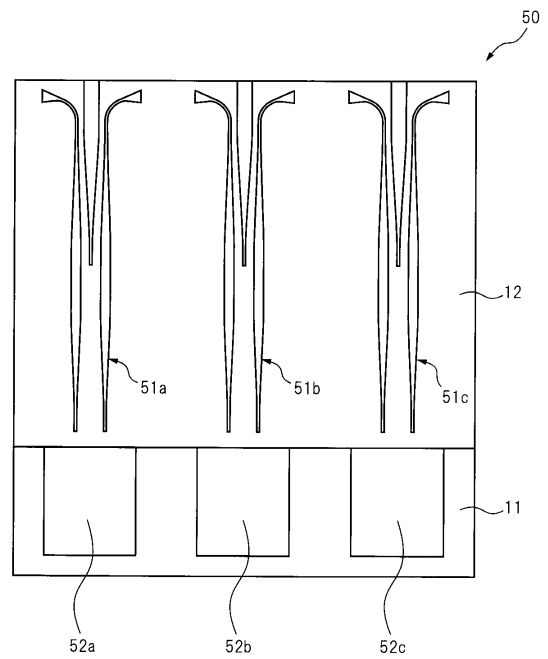
【図14】

図14



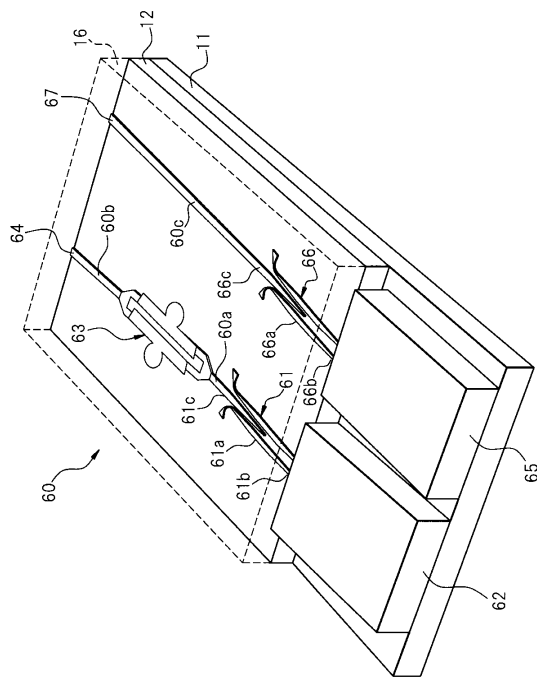
【図15】

図15



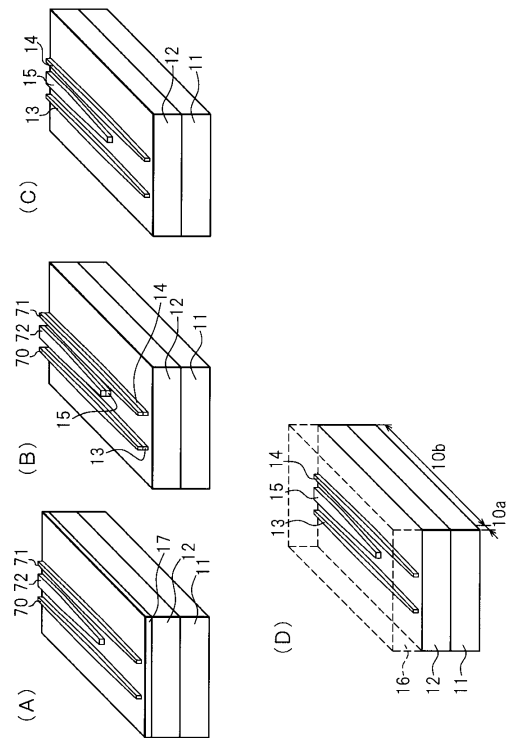
【図 16】

図16



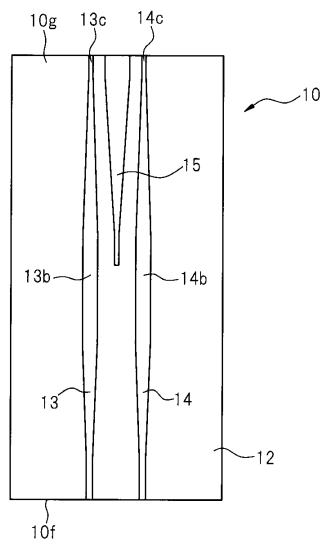
【図 17】

図17



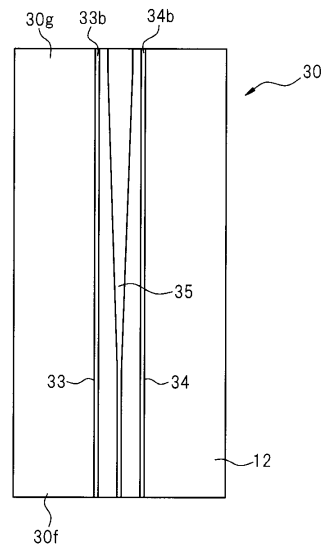
【図 18】

図18



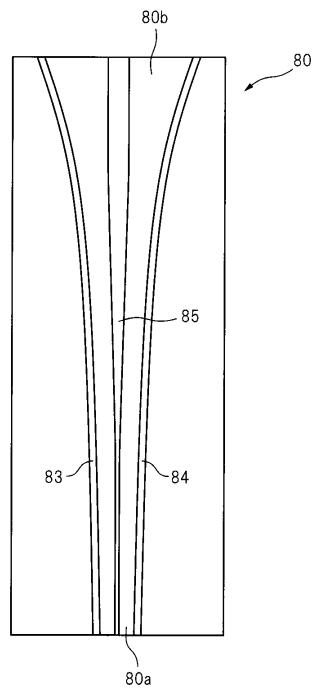
【図 19】

図19



【図 20】

図20



フロントページの続き

- (72)発明者 羽鳥 伸明
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 石坂 政茂
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 清水 隆徳
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

審査官 佐藤 秀樹

- (56)参考文献 国際公開第2011/036818(WO, A1)
特開2011-086338(JP, A)
特開2009-036877(JP, A)
特開2000-180646(JP, A)
特開平09-265018(JP, A)
特開2012-083446(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12 - 6/122
6/13
6/14