

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6232751号
(P6232751)

(45) 発行日 平成29年11月22日 (2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日 (2017.11.2)

(51) Int. Cl. F 1
G 0 2 F 1/035 (2006.01) G 0 2 F 1/035

請求項の数 1 (全 12 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-115011 (P2013-115011) (22) 出願日 平成25年5月31日 (2013.5.31) (65) 公開番号 特開2014-235218 (P2014-235218A) (43) 公開日 平成26年12月15日 (2014.12.15) 審査請求日 平成28年1月26日 (2016.1.26)</p>	<p>(73) 特許権者 309015134 富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 (74) 代理人 100087480 弁理士 片山 修平 (72) 発明者 杉山 昌樹 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社内 審査官 野口 晃一</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光変調器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気光学効果を有する基板を備え、
 前記基板は、2×2カプラの分岐部と、前記分岐部の出力導波路に接続される2つの中間導波路と、前記2つの中間導波路が接続される2×2カプラの合波部と、を備えるマッハツェンダ変調器を備え、
 前記2×2カプラの少なくとも一方の非結合導波路に沿って前記基板に溝が設けられ、
 前記非結合導波路と前記溝との距離は、前記非結合導波路の開放端に向かって連続的に小さくなることを特徴とする光変調器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本件は、光変調器に関する。

【背景技術】

【0002】

LiNbO₃ (LN) 基板、LiTaO₃ 基板等の電気光学結晶を用いた光導波路デバイスが開発されている。これらの光導波路デバイスは、結晶基板上の一部にチタンなどの金属膜を形成し熱拡散させる、あるいはパターンニング後に安息香酸中でプロトン交換するなどして光導波路を形成した後、光導波路近傍に電極を設けることで形成される。このような光導波路デバイスとして、例えばマッハツェンダ型光変調器があげられる(例えば、

特許文献 1 ~ 3 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2009 - 157114 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 301612 号公報

【特許文献 3】特開 2006 - 195256 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

マッハツェンダ型光変調器においては、光の分岐・合波のために 2 × 2 カプラを用いることがある。しかしながら、この場合、2 × 2 カプラからの不要光、2 × 2 カプラへのノイズ光等に起因して消光比が劣化するおそれがある。

【0005】

1 つの側面では、本件は、消光比の劣化を抑制することができる光変調器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】

【0007】

1 つの態様では、光変調器は、電気光学効果を有する基板を備え、前記基板は、2 × 2 カプラの分岐部と、前記分岐部の出力導波路に接続される 2 つの中間導波路と、前記 2 つの中間導波路が接続される 2 × 2 カプラの合波部と、を備えるマッハツェンダ変調器を備え、前記 2 × 2 カプラの少なくとも一方の非結合導波路に沿って前記基板に溝が設けられ、前記非結合導波路と前記溝との距離は、前記非結合導波路の開放端に向かって連続的に小さくなる。

【発明の効果】

【0008】

消光比の劣化を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】(a) は比較例 1 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は比較例 2 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図である。

【図 2】(a) は実施例 1 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は (a) の A - A 線断面図であり、(c) は溝部の断面図である。

【図 3】光変調器の消光比の実験結果を表す図である。

【図 4】(a) は実施例 2 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は実施例 3 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図である。

【図 5】(a) は実施例 4 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は非結合導波路付近の断面図である。

【図 6】(a) は実施例 5 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は非結合導波路付近の断面図である。

【図 7】(a) は実施例 6 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は非結合導波路付近の断面図である。

【図 8】(a) は実施例 7 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は非結合導波路付近の断面図である。

【図 9】(a) は実施例 8 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は非結合導波路付近の断面図である。

【図 10】(a) は実施例 9 に係る光変調器を説明するための模式的な平面図であり、(b) は非結合導波路付近の断面図である。

【図 11】光送信機の全体構成を説明するためのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

実施例の説明に先立って、マッハツェンダ変調器を備える光変調器について説明する。図 1 (a) は、比較例 1 に係る光変調器 2 0 0 を説明するための模式的な平面図である。図 1 (a) を参照して、光変調器 2 0 0 は、分岐部 5 0、第 1 マッハツェンダ変調器 6 0 a、第 2 マッハツェンダ変調器 6 0 b、および合波部 7 0 を備える。第 1 マッハツェンダ変調器 6 0 a は、分岐部 6 1 a、中間導波路 6 2 a、6 3 a、および合波部 6 4 a を備える。第 2 マッハツェンダ変調器 6 0 b は、分岐部 6 1 b、中間導波路 6 2 b、6 3 b、および合波部 6 4 b を備える。

【 0 0 1 1 】

分岐部 5 0 は、光変調器 2 0 0 の入力端に設けられ、Y 字分岐する。分岐部 6 1 a は、分岐部 5 0 の出力側の一方の分岐導波路に接続され、Y 字分岐する。分岐部 6 1 a の出力側の一方の分岐導波路は、中間導波路 6 2 a の一端に接続される。分岐部 6 1 a の出力側の他方の分岐導波路は、中間導波路 6 3 a の一端に接続される。中間導波路 6 2 a、6 3 a は、互いに平行に配置されている。中間導波路 6 2 a、6 3 a の他端は、合波部 6 4 a によって Y 字合流する。

【 0 0 1 2 】

分岐部 6 1 b は、分岐部 5 0 の出力側の他方の分岐導波路に接続され、Y 字分岐する。分岐部 6 1 b の出力側の一方の分岐導波路は、中間導波路 6 2 b の一端に接続される。分岐部 6 1 b の出力側の他方の分岐導波路は、中間導波路 6 3 b の一端に接続される。中間導波路 6 2 b、6 3 b は、互いに平行に配置されている。中間導波路 6 2 b、6 3 b の他端は、合波部 6 4 b によって Y 字合流する。合波部 6 4 a による合流後の導波路および合波部 6 4 b による合流後の導波路は、合波部 7 0 によって合流する。

【 0 0 1 3 】

Y 字導波路が対称構造を有していない場合、多段に Y 字導波路が設けられている場合、入射端面または出射端面が斜めに配置されている場合等において、分岐比が 1 : 1 からはずれることがある。マッハツェンダ変調において、入力側の Y 字導波路と出力側の Y 字導波路とで分岐比が異なると、消光比が劣化するという問題が生じ得る。この問題を解消するために、分岐部および合波部として 2 × 2 カブラを用いることができる。

【 0 0 1 4 】

図 1 (b) は、比較例 2 に係る光変調器 2 0 0 a を説明するための模式的な平面図である。図 1 (b) を参照して、光変調器 2 0 0 a が光変調器 2 0 0 と異なる点は、分岐部 5 0、6 1 a、6 1 b および合波部 6 4 a、6 4 b、7 0 として、Y 字導波路ではなく 2 × 2 カブラが用いられている点である。このような構成においては、導波路の角度、結合部の長さなどを調整することによって、分岐比を調整することができる。それにより、入力側と出力側とで分岐比を同じにすることが可能となる。その結果、上述した消光比の劣化の問題を解消することができる。

【 0 0 1 5 】

しかしながら、2 × 2 カブラを用いると、結合されない導波路（以下、非結合導波路と称する）が開放状態となる。非結合導波路からの不要光、非結合導波路へのノイズ光などが消光比の劣化を招く。図 1 (a) の光変調器 2 0 0 では、入力される CW 光が入力端面で導波路に結合できない成分（損失）が散乱光となっても、Y 字の分岐部 5 0、6 1 a、6 1 b には混入しない。また、変調に伴って発生する OFF 光（放射光）は基板方向へと離れていくので出力光には混入しない。一方で、図 1 (b) の光変調器 2 0 0 a では、入力端での散乱光の一部が 2 × 2 カブラの非結合導波路から混入し、2 × 2 カブラの非結合導波路から出射される OFF 光が基板表面付近を伝播して出力光に混入することがある。そのため、消光比が劣化するという問題が生じる。この問題は、光変調器 2 0 0 a のようにマッハツェンダ変調器が 2 段に構成された場合に顕著となり、3 段、4 段とさらに多段化された場合にはより大きな問題となり得る。そこで、以下の実施例では、消光比の劣化を抑制することができる光変調器について説明する。

【 実施例 1 】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

図 2 (a) は、実施例 1 に係る光変調器 1 0 0 を説明するための模式的な平面図である。図 2 (b) は、図 2 (a) の A - A 線断面図である。図 2 (c) は、後述する溝部 2 5 の断面図である。図 2 (a) および図 2 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 は、分岐部 1 0、第 1 マツハツェンダ変調器 2 0 a、第 2 マツハツェンダ変調器 2 0 b、および合波部 3 0 が形成された基板 4 0 を備える。基板 4 0 は、 LiNbO_3 (LN) 基板、 LiTaO_3 基板等の電気光学結晶を用いた電気光学基板である。分岐部 1 0、第 1 マツハツェンダ変調器 2 0 a、第 2 マツハツェンダ変調器 2 0 b、および合波部 3 0 は、基板 4 0 に Ti (チタン) 等の金属を熱拡散させることによって形成される。

【 0 0 1 7 】

第 1 マツハツェンダ変調器 2 0 a は、分岐部 2 1 a、中間導波路 2 2 a、2 3 a、および合波部 2 4 a を備える。第 2 マツハツェンダ変調器 2 0 b は、分岐部 2 1 b、中間導波路 2 2 b、2 3 b、および合波部 2 4 b を備える。分岐部 1 0 は、2 x 2 カプラである。分岐部 1 0 の一方の入力導波路は、光変調器 1 0 0 の入力端に設けられている。

【 0 0 1 8 】

分岐部 2 1 a、2 1 b は、2 x 2 カプラである。分岐部 1 0 の出力側の一方の分岐導波路は、分岐部 2 1 a の入力側の一方の入力導波路に接続されている。分岐部 1 0 の出力側の他方の分岐導波路は、分岐部 2 1 b の入力側の一方の入力導波路に接続されている。分岐部 2 1 a の出力側の一方の分岐導波路は、中間導波路 2 2 a の一端に接続されている。分岐部 2 1 a の出力側の他方の分岐導波路は、中間導波路 2 3 a の一端に接続されている。分岐部 2 1 b の出力側の一方の分岐導波路は、中間導波路 2 2 b の一端に接続されている。分岐部 2 1 b の出力側の他方の分岐導波路は、中間導波路 2 3 b の一端に接続されている。

【 0 0 1 9 】

合波部 2 4 a は、2 x 2 カプラである。中間導波路 2 2 a の他端は、合波部 2 4 a の入力側の一方の入力導波路に接続されている。中間導波路 2 3 a の他端は、合波部 2 4 a の入力側の他方の入力導波路に接続されている。合波部 2 4 b は、2 x 2 カプラである。中間導波路 2 2 b の他端は、合波部 2 4 b の入力側の一方の入力導波路に接続されている。中間導波路 2 3 b の他端は、合波部 2 4 b の入力側の他方の入力導波路に接続されている。

【 0 0 2 0 】

合波部 3 0 は、2 x 2 カプラである。合波部 2 4 a の出力側の一方の分岐導波路は、合波部 3 0 の入力側の一方の入力導波路に接続されている。合波部 2 4 b の出力側の一方の分岐導波路は、合波部 3 0 の入力側の他方の入力導波路に接続されている。合波部 3 0 の出力側の一方の分岐導波路は、光変調器 1 0 0 の変調光出力用の出力端に接続されている。合波部 3 0 の出力側の他方の分岐導波路は、開放されていてよいが、本実施例においては光変調器 1 0 0 のモニタ用の出力端に接続されている。

【 0 0 2 1 】

図 2 (b) を参照して、基板 4 0 の導波路側の面には、バッファ層 4 1 が設けられている。それにより、光変調器 1 0 0 の各導波路は、バッファ層 4 1 によって覆われている。バッファ層 4 1 は、導波路を伝播する光が後述する電極によって吸収されることを防ぐために設けられている。バッファ層 4 1 は、例えば、厚さ 0 . 2 μm ~ 2 μm 程度の SiO_2 等である。

【 0 0 2 2 】

中間導波路 2 2 a 上には、バッファ層 4 1 を介して、信号電極 4 2 が設けられている。中間導波路 2 3 a 上には、バッファ層 4 1 を介して、接地電極 4 3 が設けられている。それにより、信号電極 4 2 および接地電極 4 3 は、コプレーナ電極を構成する。また、中間導波路 2 2 b 上には、バッファ層 4 1 を介して、信号電極 4 4 が設けられている。中間導波路 2 3 b 上には、バッファ層 4 1 を介して、接地電極 4 5 が設けられている。それにより、信号電極 4 4 および接地電極 4 5 は、コプレーナ電極を構成する。基板 4 0 として Z

10

20

30

40

50

カット基板を用いる場合には、Z方向の電解に起因する屈折率変化を利用するために、信号電極42, 44および接地電極43, 45は、中間導波路の真上に配置される。

【0023】

第1マッハツェンダ変調器20aにおいては、信号電極42および接地電極43の終端を抵抗で接続することによって進行波電極を構成し、進行波電極の入力側からマイクロ波信号を印加する。この場合、電界によって中間導波路22a, 23aの屈折率が一例として $+n$ 、 $-n$ のように変化する。それにより、中間導波路22a, 23a間の位相差が変化するため、マッハツェンダ干渉が生じる。その結果、合波部24aから、強度変調された信号光が出力される。電極の断面形状を変化させることでマイクロ波の実効屈折率を制御し、光の速度とマイクロ波の速度とを整合させることによって高速の光応答特性を得ることができる。第2マッハツェンダ変調器20bにおいても、信号電極44および接地電極45の終端を抵抗で接続することによって進行波電極を構成し、進行波電極の入力側からマイクロ波信号を印加する。それにより、合波部24bから、強度変調された光信号が出力される。

10

【0024】

第1マッハツェンダ変調器20aおよび第2マッハツェンダ変調器20bの出力信号は、合波部30で合波されて出力される。第1マッハツェンダ変調器20aおよび第2マッハツェンダ変調器20bをそれぞれ異なる信号で駆動し、両変調器の出力光の位相が互いに90度異なるように調整することで、QPSK信号を生成することができる。

【0025】

本実施例においては、分岐部10, 21a, 21bおよび合波部24a, 24b, 30として、Y字導波路ではなく2×2カプラが用いられている。この場合、導波路の角度、結合部の長さなどを調整することによって、分岐比を調整することができる。それにより、入力側と出力側とで分岐比を同じにすることが可能となる。その結果、分岐比に起因する消光比の劣化を抑制することができる。

20

【0026】

また、本実施例においては、図2(c)を参照して、分岐部10, 21a, 21bおよび合波部24a, 24bの非結合導波路46に、溝部25を設ける。具体的には、溝部25に非結合導波路46の開放端を横切らせる。この場合、非結合導波路46とバッファ層41との屈折率差、非結合導波路46と空気との屈折率差などに起因して、非結合導波路46と溝部25との間で光の散乱が生じる。例えば、非結合導波路46から出力される光または非結合導波路46に入力される光が溝部25と非結合導波路46との界面で反射される。すなわち、溝部25は、非結合導波路46からの出力光および非結合導波路46への入力光の向きを、マッハツェンダ変調器の延伸方向と異なる向きに変化させる。その結果、溝部25は、非結合導波路46からの出力光および非結合導波路46への入力光の、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーを抑制する抑制部として機能する。具体的には、非結合導波路46にノイズ光が入射することが抑制され、非結合導波路46からの放射光が信号光に再混入することが抑制される。その結果、消光比の劣化を抑制することができる。本実施例においては、マッハツェンダ変調器の延伸方向とは、中間導波路22a, 23a, 22b, 23bの延伸方向と一致する。なお、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーとは、マッハツェンダ変調器の各中間導波路が形成する面に投影させた光のパワーのうちマッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーである。

30

40

【0027】

なお、溝部25は、非結合導波路46の延伸方向と垂直をなすように形成されていてもよいが、溝部25での反射戻り光を抑制する場合には、図2(c)のように、溝部25を非結合導波路46の延伸方向に対して斜めに形成してもよい。

【0028】

図3は、光変調器100の消光比の実験結果を表す図である。比較のために、比較例2に係る光変調器200aの消光比の実験結果も併せて表す。図3を参照して、光変調器100では、光変調器200aと比較して、広い波長範囲において良好な消光比を有してい

50

る。

【実施例 2】

【0029】

図 4 (a) は、実施例 2 に係る光変調器 1 0 0 a を説明するための模式的な平面図である。図 4 (a) を参照して、光変調器 1 0 0 a が図 2 (a) の光変調器 1 0 0 と異なる点は、溝部 2 5 が非結合導波路の延伸方向に対して斜めに横切る点である。この構成により、溝部 2 5 で反射する光の非結合導波路への戻りを抑制することができる。

【実施例 3】

【0030】

図 4 (b) は、実施例 3 に係る光変調器 1 0 0 b を説明するための模式的な平面図である。図 4 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 b が図 2 (a) の光変調器 1 0 0 と異なる点は、溝部 2 5 が形成されておらず、 2×2 カブラの開放状態の非結合導波路に曲り導波路 2 6 が設けられている点である。この曲り導波路 2 6 は、マッハツェンダ変調器の延伸方向と異なる方向に曲がっている。

【0031】

本実施例によれば、曲り導波路 2 6 は、非結合導波路 4 6 からの出力光および非結合導波路 4 6 への入力光の向きを、マッハツェンダ変調器の延伸方向と異なる向きに変化させる。それにより、曲り導波路 2 6 は、非結合導波路 4 6 からの出力光および非結合導波路 4 6 への入力光の、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーを抑制する抑制部として機能する。この構成によれば、非結合導波路 4 6 と入出力ファイバとの光結合を抑制することができる。なお、曲り導波路 2 6 の延伸方向は、基板 4 0 の側面を向いていることが好ましい。非結合導波路 4 6 と入出力ファイバとの光結合をより抑制することができるからである。ここで、基板 4 0 の端面とは、入力端または出力端が位置する面のことであり、基板 4 0 の上下面とは、パツファ層 4 1 が設けられている面及び当該面に対向する面であり、側面とは、それら以外の面である。一例として、基板 4 0 において、側面は端面と 90° をなす。なお、開放端からの放射光がチップ内を伝搬することを抑制するために、曲り導波路 2 6 の延伸方向とチップ端面とのなす角度 が全反射角よりも小さいことが好ましい。

【実施例 4】

【0032】

短い距離で光の向きを変えるには、曲り導波路の R (半径) を小さくすることが好ましい。しかしながら、R が小さいと曲り導波路で光が放射し、十分な効果が得られなくなる。そこで、実施例 4 では、曲り導波路の外周に沿って溝部を設ける。

【0033】

図 5 (a) は、実施例 4 に係る光変調器 1 0 0 c を説明するための模式的な平面図である。図 5 (b) は、非結合導波路付近の断面図である。図 5 (a) および図 5 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 c が図 4 (b) の光変調器 1 0 0 b と異なる点は、曲り導波路 2 6 の外周に沿って溝部 2 5 が設けられている点である。

この構成によれば、曲り導波路 2 6 での光放射を抑制しつつ、曲り導波路 2 6 の R を小さくすることができる。

【実施例 5】

【0034】

図 6 (a) は、実施例 5 に係る光変調器 1 0 0 d を説明するための模式的な平面図である。図 6 (b) は、非結合導波路付近の断面図である。図 6 (a) および図 6 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 d が図 2 (a) の光変調器 1 0 0 と異なる点は、溝部 2 5 が非結合導波路 4 6 を横切らずに、非結合導波路 4 6 に沿って設けられている点である。この構成によれば、溝部 2 5 によって解放端近傍での光損失が増大する。すなわち、溝部 2 5 は、非結合導波路 4 6 からの出力光および非結合導波路 4 6 への入力光の少なくとも一部を吸収する。それにより、溝部 2 5 は、非結合導波路からの出力光および非結合導波路への入力光の、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーを抑制する抑制部として機能する。

10

20

30

40

50

この場合、モードフィールドが変形し、放射光との結合が低減される。それにより、放射光が信号光に混入することが抑制される。

【実施例 6】

【0035】

図 6 (a) の光変調器 1 0 0 d において、溝部 2 5 の開始点での散乱が悪影響を及ぼすおそれがある。そこで、溝部 2 5 の開始点付近で非結合導波路 4 6 から溝部 2 5 までの距離が連続的に変化するようにしてもよい。図 7 (a) は、実施例 6 に係る光変調器 1 0 0 e を説明するための模式的な平面図である。図 7 (b) は、非結合導波路 4 6 付近の断面図である。図 7 (a) および図 7 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 e が図 5 (a) の光変調器 1 0 0 c と異なる点は、溝部 2 5 が開放端付近の非結合導波路 4 6 に沿って設けられ 10
るとともに、溝部 2 5 の開始点付近で非結合導波路 4 6 から溝部 2 5 までの距離が連続的に小さくなっている点である。この構成によれば、溝部 2 5 の開始点での散乱の影響を抑制することができる。

【実施例 7】

【0036】

図 8 (a) は、実施例 7 に係る光変調器 1 0 0 f を説明するための模式的な平面図である。図 8 (b) は、非結合導波路付近の断面図である。図 8 (a) および図 8 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 f が図 2 (a) の光変調器 1 0 0 と異なる点は、光損失を増大させるための構成として、開放端付近の導波路上にバッファ層 4 1 を介して光吸収材 2 7 が設けられて 20
いる点である。

【0037】

光吸収材 2 7 は、非結合導波路 4 6 を伝搬する光を吸収する。それにより、光吸収材 2 7 は、非結合導波路からの出力光および非結合導波路への入力光の、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーを抑制する抑制部として機能する。光吸収材 2 7 として、半導体、金属材料などを用いることができる。また、光吸収材 2 7 として、信号電極 4 2 , 4 4 および接地電極 4 3 , 4 5 と同じ材料を用いてもよい。この場合、一度の工程で、信号電極 4 2 , 4 4 と、接地電極 4 3 , 4 5 と、光吸収材 2 7 とを形成することができる。すなわち、コストを抑制することができる。

【実施例 8】

【0038】

図 9 (a) は、実施例 8 に係る光変調器 1 0 0 g を説明するための模式的な平面図である。図 9 (b) は、非結合導波路付近の断面図である。図 9 (a) および図 9 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 g が図 8 (a) の光変調器 1 0 0 f と異なる点は、光吸収材 2 7 と非結合導波路 4 6 との間においてバッファ層 4 1 が設けられていない点である。この構成によれば、光吸収材 2 7 による損失を大きくすることができる。 30

【実施例 9】

【0039】

図 1 0 (a) は、実施例 9 に係る光変調器 1 0 0 h を説明するための模式的な平面図である。図 1 0 (b) は、非結合導波路付近の断面図である。図 1 0 (a) および図 1 0 (b) を参照して、光変調器 1 0 0 h が図 6 (a) の光変調器 1 0 0 d と異なる点は、光吸収材 2 7 が非結合導波路 4 6 上に設けられるとともに、溝部 2 5 を覆うように設けられて 40
いる点である。この構成によれば、溝部 2 5 および光吸収材 2 7 における損失を増大させることができる。なお、光吸収材 2 7 と非結合導波路 4 6 との間において、バッファ層 4 1 が設けられていないことが好ましい。

【0040】

(光送信機の例)

図 1 1 は、光送信機 3 0 0 の全体構成を説明するためのブロック図である。図 1 1 を参照して、光送信機 3 0 0 は、発光素子 3 1 0、光変調器 3 2 0、データ生成回路 3 3 0、ドライバ 3 4 0などを備える。発光素子 3 1 0は、半導体レーザなどである。光変調器 3 2 0は、上記各実施例のいずれかの光変調器である。データ生成回路 3 3 0は、光送信機 50

300によって出力される信号データを生成する。ドライバ340は、データ生成回路330が生成する信号データが実現されるように、光変調器320を駆動する。光送信機300によって出力された光変調信号は、光ファイバ等を介して外部に出力される。光変調器320は高消光比を有することから、光送信機300は、高特性光信号を出力することができる。

【0041】

なお、上記各実施例においては、2つのマッハツェンダ変調器が並列配置された構成について説明したが、マッハツェンダ変調器は1つでもよい。この場合、分岐部および合波部として機能する2×2カブラの少なくとも一方の非結合導波路からの出力光および非結合導波路への入力光の、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーを抑制する抑制部を設ければよい。また、3つ以上のマッハツェンダ変調器が設けられていてもよい。この場合、分岐部および合波部として機能する2×2カブラのいずれかの非結合導波路からの出力光および非結合導波路への入力光の、マッハツェンダ変調器の延伸方向のパワーを抑制する抑制部を設ければよい。また、分岐部または合波部として機能する2×2カブラが複数設けられている場合には、少なくとも1つの2×2カブラの非結合導波路に上記抑制部が設けられていけばよい。

10

【0042】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

20

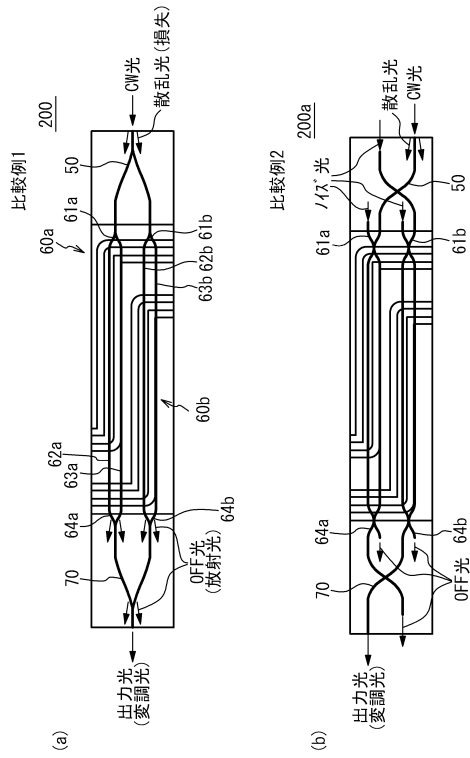
【符号の説明】

【0043】

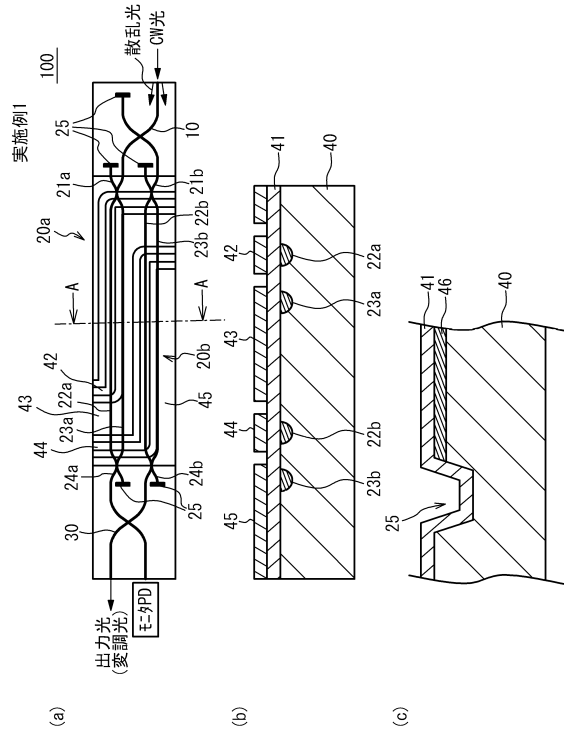
- 10 分岐部
- 20 マッハツェンダ変調器
- 21 分岐部
- 22, 23 中間導波路
- 24 合波部
- 30 合波部
- 40 基板
- 41 バッファ層
- 42, 44 信号電極
- 43, 45 接地電極
- 46 非結合導波路
- 100 光変調器

30

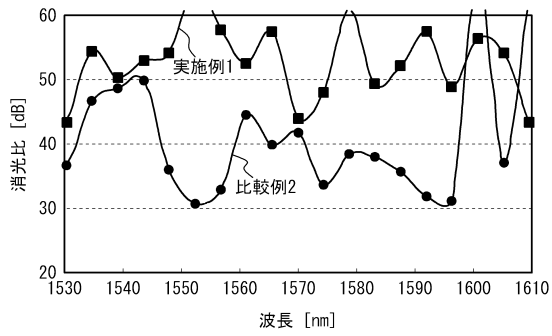
【 図 1 】



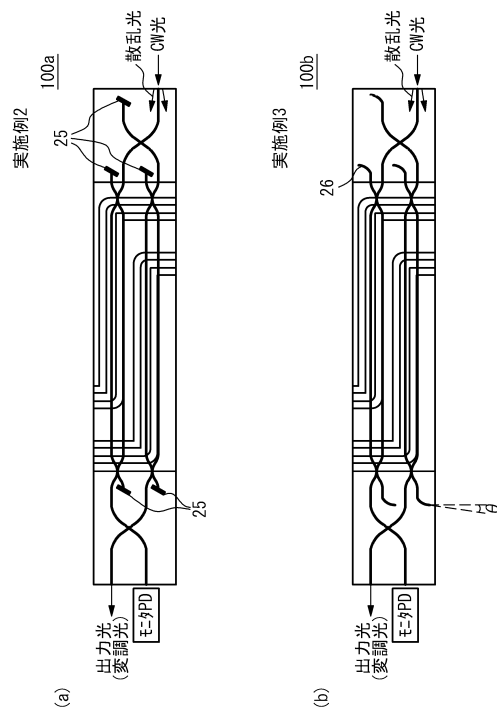
【 図 2 】



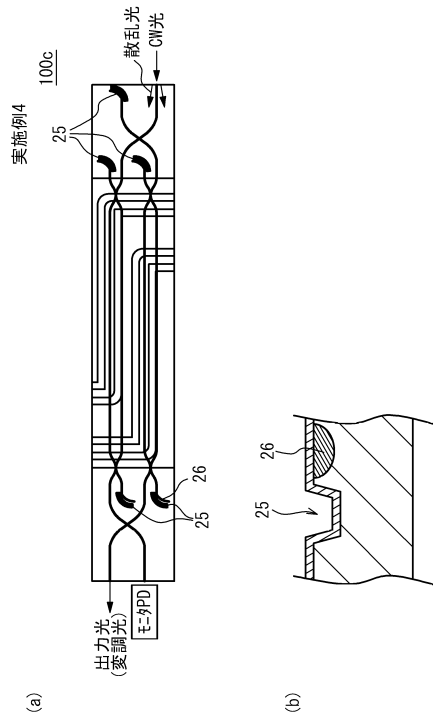
【 図 3 】



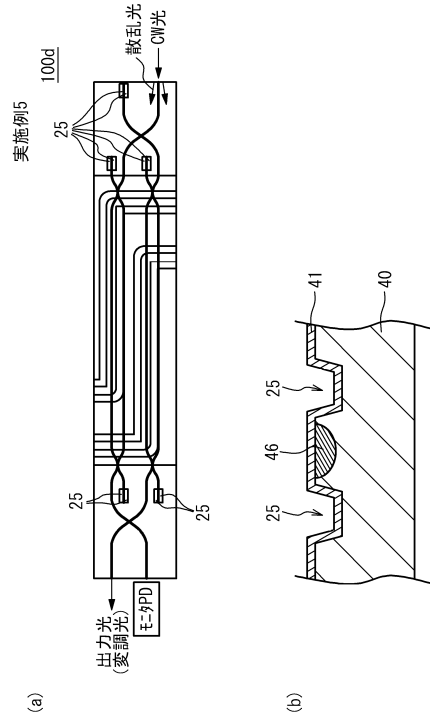
【 図 4 】



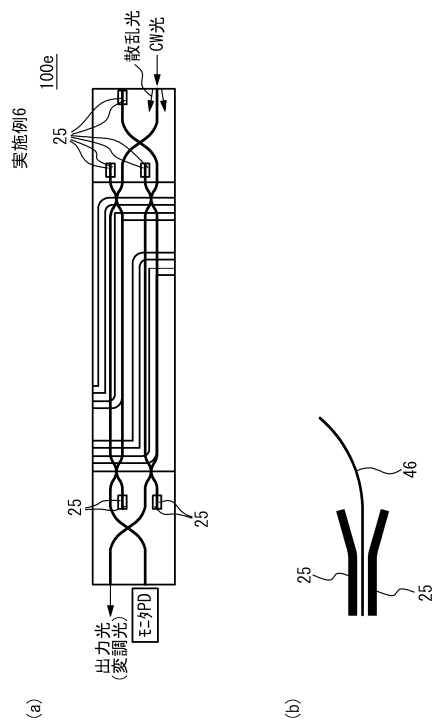
【 図 5 】



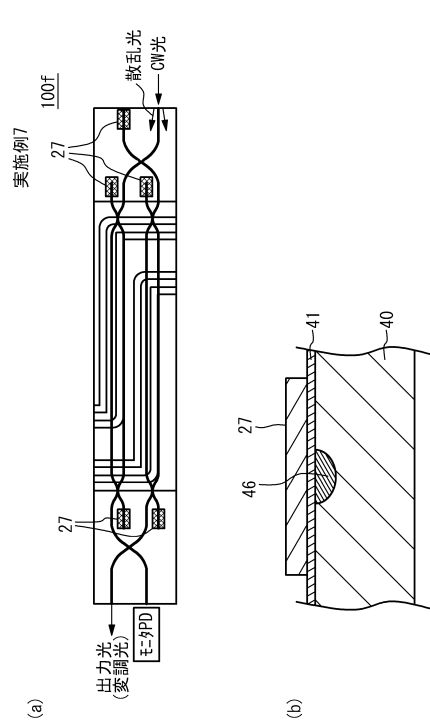
【 図 6 】



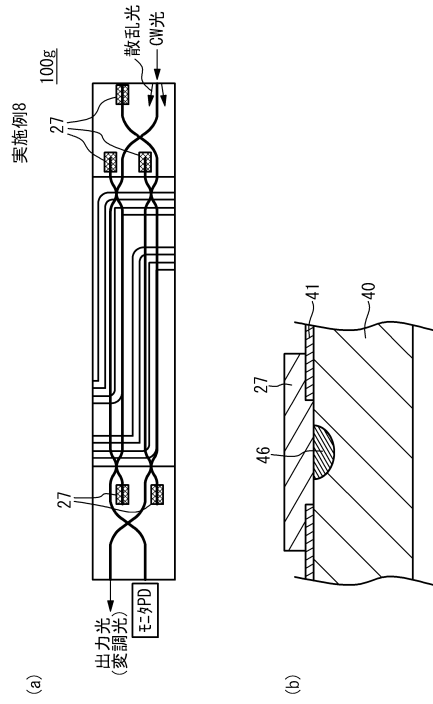
【 図 7 】



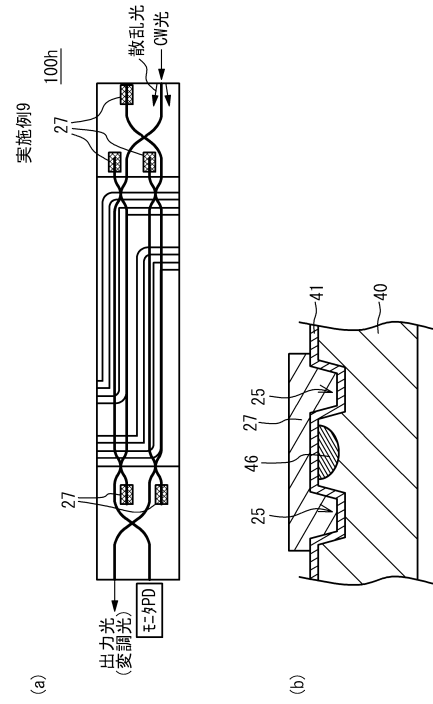
【 図 8 】



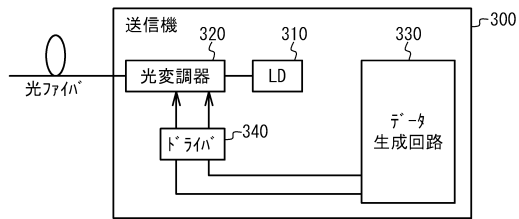
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-282449(JP,A)
国際公開第2004/092792(WO,A1)
特開2003-233047(JP,A)
特開2009-134279(JP,A)
国際公開第2004/025343(WO,A1)
特開2010-091900(JP,A)
特表2002-539712(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0105812(US,A1)
特開2004-093905(JP,A)
特開2012-215901(JP,A)
特開2010-266628(JP,A)
国際公開第2011/043079(WO,A1)
特開2005-345554(JP,A)
米国特許第06885795(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12 - 6/14
G02F 1/00 - 1/125
1/21 - 7/00