

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-216640

(P2008-216640A)

(43) 公開日 平成20年9月18日(2008.9.18)

(51) Int.Cl.
G02F 1/065 (2006.01)

F I
G02F 1/065

テーマコード(参考)
2H079

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2007-54064(P2007-54064)
(22) 出願日 平成19年3月5日(2007.3.5)

(71) 出願人 800000080
タマティールオー株式会社
東京都八王子市旭町9番1号 八王子スク
エアビル11階
(74) 代理人 100110858
弁理士 柳瀬 睦肇
(74) 代理人 100100413
弁理士 渡部 温
(72) 発明者 中津原 克己
神奈川県厚木市下荻野1030 神奈川工
科大学工学部電気電子情報工学科内
(72) 発明者 中神 隆清
神奈川県厚木市下荻野1030 神奈川工
科大学工学部電気電子情報工学科内

最終頁に続く

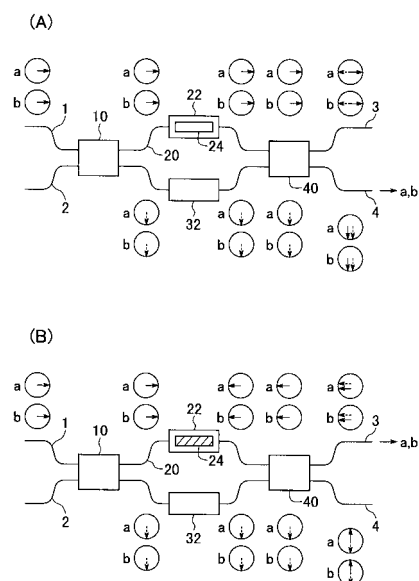
(54) 【発明の名称】 光スイッチ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】導波路型の光スイッチであって、複数の波長それぞれの光の経路を一括して切り替える光スイッチを提供する。

【解決手段】第1の導波路10の一部である第1領域上には強誘電性液晶層22と、強誘電性液晶層22に電圧を印加して強誘電性液晶層22の配向方向を制御する第1の電極24が形成されている。第2の導波路30の一部である第2領域は、クラッド層32により被覆されている。強誘電体液晶層22の屈折率は該強誘電体液晶層22の配向方向により変化し、前記第1領域の屈折率は、強誘電体液晶層22の屈折率の変化に起因して変化する。クラッド層32の屈折率は、強誘電体液晶層22の屈折率の下限値以上上限値以下である。前記第1領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第2領域の屈折率との差と、前記第1領域の光路長との積を、前記入力光の位相に換算した場合、該位相が奇数倍である。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力光を、第 1 の分岐光、及び該第 1 の分岐光に対して位相が第 1 の方向に 0.5π ずれた第 2 の分岐光に分岐する第 1 の方向性結合器と、

前記第 1 の方向性結合器に接続され、前記第 1 の分岐光を伝達する第 1 の導波路と、

前記第 1 の方向性結合器に接続され、前記第 2 の分岐光を伝達し、かつ前記第 1 の導波路との長さの差を前記入力光の位相に換算した場合に該位相が 2π の整数倍である第 2 の導波路と、

前記第 1 の導波路の一部である第 1 領域上に形成された強誘電性液晶層と、

前記強誘電性液晶層に電圧を印加して、該強誘電性液晶層の配向方向を制御する第 1 の電極と、

前記第 2 の導波路の一部であり、前記第 1 領域との長さの差を前記入力光の位相に換算した場合に該位相が 2π の整数倍である第 2 領域を被覆するクラッド層と、

第 1 及び第 2 の出力端子を有しており、前記第 1 の導波路及び前記第 2 の導波路から前記第 1 及び第 2 の分岐光が入力され、前記第 1 の分岐光を第 3 の分岐光及び該第 3 の分岐光に対して位相が前記第 1 の方向に 0.5π ずれた第 4 の分岐光に分岐するとともに、前記第 2 の分岐光を第 5 の分岐光及び該第 5 の分岐光に対して位相が前記第 1 の方向に 0.5π ずれた第 6 の分岐光に分岐し、かつ前記第 3 の分岐光と前記第 5 の分岐光を合成して前記第 1 の出力端子から出力するとともに、前記第 4 の分岐光を前記第 6 の分岐光を合成して前記第 2 の出力端子から出力する第 2 の方向性結合器と、

を具備し、

前記強誘電体液晶層の屈折率は該強誘電体液晶層の配向方向により変化し、

前記第 1 領域の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の変化に起因して変化し、

前記第 1 の分岐光の位相は、前記第 1 領域の屈折率の変化に起因して変化し、

前記クラッド層の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の下限値以上上限値以下であり、

前記第 1 領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第 2 領域の屈折率との差と、前記第 1 領域の光路長との積を、前記入力光の位相に換算した場合、該位相がの奇数倍である光スイッチ。

【請求項 2】

前記入力光は複数の波長を有しており、

前記第 1 の導波路と前記第 2 の導波路の長さの差を前記入力光の複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、該位相それぞれが 2π の整数倍であり、

前記第 1 領域と前記第 2 領域の長さの差を前記入力光の複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、該位相それぞれが 2π の整数倍であり、

前記第 1 領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第 2 領域の屈折率との差と、前記第 1 領域の光路長との積を、前記入力光の複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、該位相それぞれが 2π の奇数倍である請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 3】

下地膜上に光を透過する透光膜を形成する工程と、

前記透光膜を選択的に除去することにより、前記下地膜上に位置する第 1 の導波路及び第 2 の導波路を形成する工程と、

前記第 2 の導波路の一部であり、第 2 領域を被覆するクラッド層を形成する工程と、

前記第 1 の導波路の一部である第 1 領域上に強誘電性液晶層を形成する工程と、

前記強誘電性液晶層に電圧を印加して、該強誘電性液晶層の配向方向を制御する電極を形成する工程と、

を具備し、

前記第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程において、前記第 1 の導波路のうち、前記強誘電体層が形成された部分の前及び後それぞれで前記第 2 の導波路に近接させることにより、前記強誘電体層が形成された部分の前及び後それぞれに位置する方向性結合器を形成

10

20

30

40

50

し、

前記 2 つの方向性結合器の間に位置する前記第 1 の導波路の長さ、と前記 2 つの方向性結合器の間に位置する前記第 2 の導波路の長さとの差を前記入力光の位相に換算した場合、該位相が 2 の整数倍であり、

前記第 1 領域と前記第 2 領域の長さの差を前記入力光の位相に換算した場合、該位相が 2 の整数倍であり、

前記強誘電体液晶層の屈折率は該強誘電体液晶層の配向方向により変化し、

前記第 1 領域の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の変化に起因して変化し、

前記第 2 の分岐光の位相は、前記第 1 領域の屈折率の変化に起因して前記第 2 の分岐光の位相が変化し、

前記クラッド層の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の下限値以上上限値以下であり、

前記第 1 領域の光路長と、前記第 1 領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第 2 領域の屈折率との差との積を前記入力光の位相に換算した場合に該位相がの奇数倍となるように前記光路長を定める光スイッチの製造方法。

【請求項 4】

前記透光膜は半導体膜である請求項 3 に記載の光スイッチの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、導波路型の光スイッチ及びその製造方法に関する。特に本発明は、従来と比較して応答速度が速い光スイッチ及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信ネットワークにおいて、光の経路を切り替える光スイッチが必須である。このような光スイッチの一例として、導波路型の光スイッチがある（例えば特許文献 1 参照）。導波路型の光スイッチは、低損失、高速切替、及び小型化が可能といった特徴を有している。

【0003】

【特許文献 1】特開平閉 8 - 5 4 6 5 2 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

波長分割多重（WDM）ネットワークにおいて、複数の波長それぞれの光の経路を一括して切り替える光スイッチが必須である。本発明の目的は、複数の波長それぞれの光の経路を一括して切り替えることも可能である、新たな構造の導波路型の光スイッチ及びそ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】

【0005】

上記課題を解決するため、本発明に係る光スイッチは、入力光を、第 1 の分岐光、及び該第 1 の分岐光に対して位相が第 1 の方向に 0 . 5 ずれた第 2 の分岐光に分岐する第 1 の方向性結合器と、

前記第 1 の方向性結合器に接続され、前記第 1 の分岐光を伝達する第 1 の導波路と、

前記第 1 の方向性結合器に接続され、前記第 2 の分岐光を伝達し、かつ前記第 1 の導波路との長さの差を前記入力光の位相に換算した場合に該位相が 2 の整数倍である第 2 の導波路と、

前記第 1 の導波路の一部である第 1 領域上に形成された強誘電性液晶層と、

前記強誘電性液晶層に電圧を印加して、該強誘電性液晶層の配向方向を制御する第 1 の電極と、

前記第 2 の導波路の一部であり、前記第 1 領域との長さの差を前記入力光の位相に換算

10

20

30

40

50

した場合に該位相が2 の整数倍である第2領域を被覆するクラッド層と、

第1及び第2の出力端子を有しており、前記第1の導波路及び前記第2の導波路から前記第1及び第2の分岐光が入力され、前記第1の分岐光を第3の分岐光及び該第3の分岐光に対して位相が前記第1の方向に0.5 ずれた第4の分岐光に分岐するとともに、前記第2の分岐光を第5の分岐光及び該第5の分岐光に対して位相が前記第1の方向に0.5 ずれた第6の分岐光に分岐し、かつ前記第3の分岐光と前記第5の分岐光を合成して前記第1の出力端子から出力するとともに、前記第4の分岐光を前記第6の分岐光を合成して前記第2の出力端子から出力する第2の方向性結合器と、
を具備し、

前記強誘電体液晶層の屈折率は該強誘電体液晶層の配向方向により変化し、

前記第1領域の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の変化に起因して変化し、

前記第1の分岐光の位相は、前記第1領域の屈折率の変化に起因して変化し、

前記クラッド層の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の下限値以上上限値以下であり、

前記第1領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第2領域の屈折率との差と、前記第1領域の光路長との積を、前記入力光の位相に換算した場合、該位相がの奇数倍である。

【0006】

上記した光スイッチにおいて、前記入力光が複数の波長を有している場合、

前記第1の導波路と前記第2の導波路の長さの差を前記入力光の複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、該位相それぞれが2 の整数倍であり、

前記第1領域と前記第2領域の長さの差を前記入力光の複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、該位相それぞれが2 の整数倍であり、

前記第1領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第2領域の屈折率との差と、前記第1領域の光路長との積を、前記入力光の複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、該位相それぞれが の奇数倍である。

【0007】

本発明に係る光スイッチの製造方法は、下地膜上に光を透過する透光膜を形成する工程と、

前記透光膜を選択的に除去することにより、前記下地膜上に位置する第1の導波路及び第2の導波路を形成する工程と、

前記第2の導波路の一部であり、第2領域を被覆するクラッド層を形成する工程と、

前記第1の導波路の一部である第1領域上に強誘電性液晶層を形成する工程と、

前記強誘電性液晶層に電圧を印加して、該強誘電性液晶層の配向方向を制御する電極を形成する工程と、
を具備し、

前記第1及び第2の導波路を形成する工程において、前記第1の導波路のうち、前記強誘電体層が形成された部分の前及び後それぞれで前記第2の導波路に近接させることにより、前記強誘電体層が形成された部分の前及び後それぞれに位置する方向性結合器を形成し、

前記2つの方向性結合器の間に位置する前記第1の導波路の長さ、前記2つの方向性結合器の間に位置する前記第2の導波路の長さとの差を前記入力光の位相に換算した場合、該位相が2 の整数倍であり、

前記第1領域と前記第2領域の長さの差を前記入力光の位相に換算した場合、該位相が2 の整数倍であり、

前記強誘電体液晶層の屈折率は該強誘電体液晶層の配向方向により変化し、

前記第1領域の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の変化に起因して変化し、

前記第2の分岐光の位相は、前記第1領域の屈折率の変化に起因して前記第2の分岐光の位相が変化し、

前記クラッド層の屈折率は、前記強誘電体液晶層の屈折率の下限値以上上限値以下であ

10

20

30

40

50

り、

前記第1領域の光路長と、前記第1領域の屈折率の下限値から上限値の間のいずれかの値と前記第2領域の屈折率との差との積を前記入力光の位相に換算した場合に該位相がの奇数倍となるように前記光路長を定める。

前記透光膜は、例えば半導体膜である。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、新たな構造の導波路型の光スイッチ及びその製造方法を提供できる。また、複数の波長それぞれの光の経路を一括して切り替えることも可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る光スイッチの構成を説明する為の概略図である。この光スイッチにおいて、第1の方向性結合器10が有する2つの出力ポートと、第2の方向性結合器40が有する2つの入力ポートが、第1の導波路20及び第2の導波路30を用いて接続されている。第1の導波路20及び第2の導波路30は、長さが互いに略同一である。第1の方向性結合器10の入力ポート1, 2は光スイッチの入力ポートとして機能し、第2の方向性結合器40の出力ポート3, 4は光スイッチの出力ポートとして機能する。なお、第1の導波路20及び第2の導波路30は、例えば不純物が導入されていて導電性を有する半導体膜によって形成されている。

【0010】

第1の導波路20の一部である第1領域上には強誘電性液晶22が配置されている。強誘電性液晶22は、強誘電性液晶22上に設けられた上部電極24と第1の導波路20の間に印加される電圧によって、配向方向が制御される。強誘電性液晶22の配向方向を制御する電圧は、電圧制御部50によって制御されている。

【0011】

入力ポート1には、例えば波長 λ_1 の光aと、波長 λ_2 の光bが入力される。第1の方向性結合器10を通過する際に、光a, bは第1の導波路20及び第2の導波路30にそれぞれ分岐する。分岐した光の強度は略同じであるが、これらの間には位相差 $\pi/2$ が生じる。

【0012】

第1の導波路20と第2の導波路30の長さは互いに同じである為、第1の導波路20を通過する光a, bと第2の導波路30を通過する光a, bの間の位相差は変化しない。

【0013】

また、強誘電性液晶22の配向方向が変化すると、詳細を後述するように、強誘電性液晶22の屈折率が変化し、この屈折率の変化に起因して、第1の導波路20のうち、強誘電性液晶22の下方に位置する第1領域の屈折率が変化する。このため、強誘電性液晶22の配向方向が変化すると、第1の導波路20から出力される光の位相が変化する。この位相の変化量は、後述するように強誘電性液晶22の配向量を変えることによって制御することができる。

【0014】

また、第2の導波路20の一部である第2領域はクラッド層32で被覆されている。クラッド層32を構成する物質は、屈折率が、強誘電性液晶22の屈折率の下限値(すなわち後述する常光屈折率 n_o)以上上限値(すなわち後述する異常光屈折率 n_e)以下である。この物質は、例えば Al_2O_3 (屈折率=1.65)であるが、強誘電性液晶22の異常光屈折率 n_e 超の屈折率を有する物質(例えば TiO_2 (屈折率= ~ 2.4)、 HfO_2 (屈折率=1.98)又は Ta_2O_5 (屈折率=2.1))と、強誘電性液晶22の常光屈折率 n_o 未満の屈折率を有する物質(例えば SiO_2 (屈折率=1.48)又は SrF_2 (屈折率=1.44))を混合した物質であっても良い。後者の場合、混合比を変更することにより、クラッド層32の屈折率に自由度を持たせることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

第 2 領域の長さは第 1 領域の長さと同様である。第 1 領域の長さ（すなわち光路長）は、該長さと、第 1 領域の屈折率の下限値から上限値までの間のいずれかの値と第 2 領域の屈折率との差の積を入力光の位相に換算した場合、該位相が の奇数倍となるようにする。入力光が複数の波長を有する場合（例えば光 a , b を有する場合）、上記した光路長は、上記した積を複数の波長それぞれの位相に換算した場合、該位相それぞれが の奇数倍となるようにする。

【 0 0 1 6 】

第 1 の導波路 2 0 を通過した光 a , b、及び第 2 の導波路 3 0 を通過した光 a , b は、第 2 の方向性結合器 4 0 でそれぞれ出力ポート 3 , 4 に略同強度に分岐される。分岐後の光が出力ポート 3 , 4 で合成されることにより、出力ポート 3 , 4 から出力される光が定まる。

10

【 0 0 1 7 】

出力ポート 3 , 4 のいずれから光 a , b が出力されるかは、上記した光の位相差の合計によって定まる。光の位相差の合計は、強誘電性液晶 2 2 の配向方向によって変化する。このため、詳細を後述するように、強誘電性液晶 2 2 の配向方向を制御することにより、出力ポート 3 , 4 のいずれから光 a , b が出力されるかを制御することができる。例えば、強誘電性液晶 2 2 の屈折率をクラッド層 3 2 の屈折率に一致させた場合、入力光は出力ポート 4 から出力する。また強誘電性液晶 2 2 の屈折率をクラッド層 3 2 の屈折率とは異ならせることにより、第 1 領域の屈折率と第 2 領域の屈折率との差の積を光 a , b それぞれの位相に換算した場合に該 2 つの位相がともに の奇数倍となるようにした場合、光 a , b は出力ポート 3 から出力される。この理由は後述する。

20

【 0 0 1 8 】

図 2 のグラフは、上面が強誘電性液晶で被覆された導波路を透過している光のうち TE 基本モードの強度分布を示すシミュレーション結果を示している。本シミュレーションにおいて、導波路は Si (厚さは 0.5 μm) で形成されており、下地膜は SiO₂ (厚さは) で形成されている。強誘電性液晶は、等価屈折率が 1.615、厚さが として扱われている。本グラフから、導波路から強誘電性液晶に光の一部が染み出ていることが分かる。強誘電性液晶の配向方向が変化すると、強誘電性液晶の等価屈折率（誘電率）が変化する。この等価屈折率の変化は、導波路から強誘電性液晶に染み出た光の伝搬に影響を与える。この結果、導波路の等価屈折率が変化する。

30

【 0 0 1 9 】

従って、電圧制御部 5 0 が上部電極 2 4 と第 1 の導波路 2 0 の間の電圧を制御することにより、強誘電性液晶 2 2 の配向方向を変化させ、強誘電性液晶 2 2 の下方に位置する第 1 の導波路 2 0 の等価屈折率を変化させることができる。

【 0 0 2 0 】

図 3 のグラフは、上面が強誘電性液晶で被覆された導波路の等価屈折率の変化 n が導波路の厚さによってどのように変化するかシミュレーションした結果を示している。このシミュレーションでは、導波路が Si で形成されており、下地膜が SiO₂ で形成されており、かつ光の波長 = 1550 nm としている。本図に示すように、導波路の厚さが薄いほど n が大きくなる。

40

【 0 0 2 1 】

図 4 のグラフは、上面が強誘電性液晶で被覆された導波路において、位相差 を得るために必要な導波路長が、導波路の厚さによってどのように変化するかを計算したグラフである。本グラフは、図 3 のグラフに示した結果を前提としている。本グラフに示すように、導波路の厚さが薄くなるにつれて、位相差 を得るために必要な導波路長が短くなる。

【 0 0 2 2 】

(赤字部分の記載内容が正しいか否か、ご確認をお願いいたします)

図 5 (A) は、強誘電性液晶の屈折率と光の伝播方向すなわち導波路の延伸方向 (Z) の関係を示す図である (図 5 (B) 参照)。本図に示すように、1 軸光学結晶である液晶

50

を屈折率楕円体で表現した場合、光の伝播方向に対する液晶の屈折率 n_{LC} は、下記(1)式で表現できる。

【0023】

【数1】

$$n_{LC}(\theta) = \left(\frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} \right)^{-1/2} \quad \dots(1)$$

ただし、 θ = 導波路の延伸方向に対する強誘電性液晶分子の配向角度、 n_e = 強誘電性液晶の異常光屈折率、 n_o = 強誘電性液晶の常光屈折率である。

10

【0024】

(1)式に示すように、強誘電性液晶分子の配向角度 θ をかえることにより、光の伝播方向に対する液晶の屈折率 n_{LC} を、 n_o 以上 n_e 以下の範囲の任意の値(具体的にはクラッド層32の屈折率と一致する値、及び図1において説明した光の位相差が π の奇数倍になるような値それぞれ)に調節することが可能である。

【0025】

図6は、図5(A)に示した n_{LC} と強誘電性液晶分子の配向角度 θ の関係を計算した結果を示すグラフである。本グラフにおいて、 $n_e = 1.69$ 、 $n_o = 1.55$ とした。この場合、 Al_2O_3 (屈折率 = 1.65) をクラッド層32の材料として用いることができ、配向角度 θ を 34.5° にすることで、強誘電性液晶層22の屈折率をクラッド層32の屈折率に一致させることができる。

20

【0026】

図7の各図は、強誘電性液晶22に印加される電圧によって出力ポート3, 4から出力される光が切り替わる理由を説明する為の図である。図7において、強誘電性液晶22の配向方向は第1の方向と第2の方向のいずれかを取る。強誘電性液晶22の配向方向が第1の方向である場合、強誘電性液晶層22の屈折率は、クラッド層32の屈折率に一致する。強誘電性液晶22の配向方向が第2の方向である場合、第1の導波路20の第1領域の屈折率と第2の導波路30の第2領域の屈折率との差と、第2領域の光路長の積を光 a , b それぞれの位相に換算した場合、該2つの位相がともに π の奇数倍となる。このような状態は、上記したように、強誘電性液晶22の材料、クラッド層32の材料、第1領域及び第2領域の長さ、及び第1の導波路20及び第2の導波路30の厚さを調節することにより実現できる。

30

【0027】

図7(A)は、強誘電性液晶22が第1の方向に配向している場合を示している。第1の方向性結合器10を通過すると、光 a , b は第1の導波路20及び第2の導波路30に同じ強度に分岐されるが、第2の導波路30に分岐された光 a , b は、それぞれ第1の導波路20に分岐された光に対して $\pi/2$ ほど位相が遅れる。

【0028】

その後、光 a , b は強誘電性液晶22, 32の下方を通り、第2の方向性結合器40に入力される。第1の導波路20を伝送した光 a と第2の導波路30を伝送した光 a の間には更なる位相差は生じず、また、第1の導波路20を伝送した光 b と第2の導波路30を伝送した光 b の間には更なる位相差は生じない。

40

【0029】

そして、第2の方向性結合器40では、第1の導波路20によって伝送された光 a , b が略同じ強度で出力ポート3, 4に分岐され、かつ第2の導波路30によって伝送された光 a , b が略同じ強度で出力ポート3, 4に分岐される。第1の導波路20から出力ポート4に分岐される光 a , b は、第1の導波路20から出力ポート3に分岐される光 a , b に対してさらに $\pi/2$ ほど位相が遅れ、かつ第2の導波路30から出力ポート3に分岐される光 a , b は、第2の導波路30から出力ポート4に分岐される光 a , b に対してさらに位相が $\pi/2$ ほど位相が遅れる。

50

【 0 0 3 0 】

この結果、第 1 の導波路 2 0 を経由して出力ポート 3 に伝達された光 a、b と、第 2 の導波路 3 0 を経由して出力ポート 3 に伝達された光 a、b との間には位相差が生じる。このため、出力ポート 3 からは光 a、b のいずれも出力されない。

【 0 0 3 1 】

これに対し、第 1 の導波路 2 0 を経由して出力ポート 4 に伝達された光 a、b と、第 2 の導波路 3 0 を経由して出力ポート 4 に伝達された光 a、b との間には位相差は生じない。このため、出力ポート 4 からは光 a、b の双方が出力される。

【 0 0 3 2 】

図 7 (B) は、強誘電性液晶 2 2 が第 2 の方向に配向している場合を示している。図 7 (A) の場合と同様に、第 1 の方向性結合器 1 0 によって光 a、b は、略同じ強度で第 1 の導波路 2 0 と第 2 の導波路 3 0 に分岐される。そして、第 2 の導波路 3 0 に分岐された光 a、b は、それぞれ第 1 の導波路 2 0 に分岐された光に対して $\pi/2$ ほど位相が遅れる。

10

【 0 0 3 3 】

そして、光 a、b は強誘電性液晶 2 2、3 2 の下方を通る。この際に、第 1 の導波路 2 0 に分岐された光 a、b は、さらに π の奇数倍ほど位相が遅れる。

【 0 0 3 4 】

そして、図 7 (A) の場合と同様に、第 2 の方向性結合器 4 0 では、第 1 の導波路 2 0 によって伝送された光 a、b、及び 2 の導波路 3 0 によって伝送された光 a、b が略同じ強度で出力ポート 3、4 に分岐される。第 1 の導波路 2 0 から出力ポート 4 に分岐される光 a、b は、第 1 の導波路 2 0 から出力ポート 3 に分岐される光 a、b に対してさらに $\pi/2$ ほど位相が遅れ、かつ第 2 の導波路 3 0 から出力ポート 3 に分岐される光 a、b は、第 2 の導波路 3 0 から出力ポート 4 に分岐される光 a、b に対して位相がさらに $\pi/2$ ほど位相が遅れる。

20

【 0 0 3 5 】

この結果、第 1 の導波路 2 0 を経由して出力ポート 3 に伝達された光 a、b と、第 2 の導波路 3 0 を経由して出力ポート 3 に伝達された光 a、b との間には位相差は生じない。このため、出力ポート 3 からは光 a、b の双方が出力される。

【 0 0 3 6 】

また、第 1 の導波路 2 0 を経由して出力ポート 4 に伝達された光 a、b と、第 2 の導波路 3 0 を経由して出力ポート 4 に伝達された光 a、b との間には位相差が生じる。このため、出力ポート 4 からは光 a、b のいずれも出力されない。

30

【 0 0 3 7 】

以上、本発明の第 1 の実施形態によれば、強誘電性液晶 2 2 の配向方向を制御することにより、入力光の出力ポートを切り替えることができる。入力光が波長多重の場合は、複数の波長の出力ポートを一括して切り替えることができる。強誘電性液晶 2 2 の応答時間はネマティック液晶よりも一桁以上速い 100μ 秒程度である。従って、光スイッチの応答速度は従来と比較して速くなる。

【 0 0 3 8 】

また、強誘電性液晶は双安定性（自己保持性）を有しており、印加電圧を切った後にも配向方向が保持される。従って、本実施形態に係る光スイッチの消費電力は低い。

40

【 0 0 3 9 】

また、強誘電性液晶 2 2 の等価屈折率変化は大きいため、第 1 の導波路 2 0 の第 1 領域（強誘電性液晶 2 2 の下方に位置する領域）の長さを短くしても、光スイッチの動作に必要な位相変化を得ることができる。従って、光スイッチを小型化することができる。

【 0 0 4 0 】

図 8 は、本発明の第 2 の実施形態に係る光スイッチの構成を説明するための概略図である。本図に示す光スイッチは、強誘電性液晶 2 2 上の電極 2 4 が複数に分割され、これら複数の電極が第 1 の導波路 2 0 の延伸方向に沿って直列に配置されている点を除いて、第

50

1の実施形態と同様である。尚、電圧制御部50は、複数の電極24を互いに独立して制御することができる。

本実施形態によっても第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。また、第1の導波路20を通る光と第2の導波路30を通る光の位相差を細かく調節することができる。

【0041】

図9及び図10は、本発明の第2の実施形態に係る光スイッチの製造方法を説明する為の図である。各図において(A)は平面図であり、(B)は(A)のA-A'断面図である。

【0042】

まず、図9に示すように基板100上に酸化シリコン膜102を形成し、さらに酸化シリコン膜102上に半導体膜104をCVD法により形成する。基板100は、例えばシリコン基板である。半導体膜104は、例えば単結晶シリコン膜であるが、ポリシリコン膜、アモルファスシリコン膜、GaAs系の半導体膜、又はGaInAsP系の半導体膜であっても良い。その後、半導体膜104に不純物を導入し、導電性を持たせる。不純物は、n型の不純物及びp型の不純物のいずれであってもよい。

【0043】

次いで、半導体膜104上にクロム膜200を真空蒸着法により形成し、さらにクロム膜200上にフォトレジスト膜210を塗布する。次いで、フォトレジスト膜210を露光及び現像する。これにより、フォトレジスト膜210には開口パターンが形成される。

【0044】

次いで、フォトレジスト膜210をマスクとしてクロム膜200をエッチングし、クロム膜200に開口パターンを形成する。次いで、クロム膜200をマスクとして半導体膜104をドライエッチングする。これにより、半導体膜104は選択的に除去され、導波路110, 120が形成される。導波路110, 120は、2箇所近接しているが、他の部分では離間している。

【0045】

導波路110, 120のうち相互に近接している部分は、それぞれ方向性結合器132, 134として機能するが、これら方向性結合器132, 134は第1又は第2の実施形態における方向性結合器10, 40に相当する。また、導波路110, 120の一方の端部110a, 120aは第1又は第2の実施形態における入力ポート1, 2に相当し、他方の端部110b, 120bは第1又は第2の実施形態における出力ポート3, 4に相当する。また、導波路110, 120のうち方向性結合器132, 134の相互間に位置する部分は、第1又は第2の実施形態における第1の導波路20及び第2の導波路30に相当し、互いの長さは略同じである。

【0046】

なお、半導体膜104は、下部電極として使用されるため、このドライエッチング工程において全面に薄く残される。

【0047】

その後、図10に示すようにクロム膜200を除去する。次いで、導波路110, 120上及び半導体膜104上にクラッド層124を(スパッタリング法により)形成する。クラッド層124の構成は、第1の実施形態におけるクラッド層32の構成と同様である。次いでクラッド層124上に、開口パターンを有するマスク膜(図示せず)を形成し、このマスク膜をマスクとしてクラッド層124をエッチングする。これによりクラッド層124は、第2の導波路120上的一部分(第1又は第2の実施形態における第2領域に相当する部分)を除いて除去される。その後、マスク膜を除去する。次いで、クラッド層124上及び第1の導波路110上を含む全面上に酸化シリコン膜142を形成し、レジストパターンを用いたドライエッチングにより、導波路110上から酸化シリコン膜142を除去する。

【0048】

次いで、基板 100 の上方に、上部電極 152 及び配向膜 146 がこの順に積層された対向基板 160 を配置する。上部電極 152 は、第 1 の実施形態における上部電極 24 に相当し、導波路 110 の一部の上方に位置する。尚上部電極 152 は全面に形成されていても良い。

【0049】

このとき、配向膜 146 が導波路 110, 120 と向き合うようにする。なお、基板 100 と対向基板 160 の間隔は、スペーサー 144a によって維持されているが、この間隔は $0.2 \mu\text{m}$ 以上 $2.0 \mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。また、上部電極 152 は、例えば ITO 膜である。

【0050】

次いで、基板 100 と対向基板 160 の空間に強誘電性液晶 144 を注入する。強誘電性液晶 144 は、第 1 の実施形態における強誘電性液晶 22 に相当する。このようにして光スイッチが形成される。

【0051】

本実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様の効果を得ることができる。また、導波路 110, 120 を、レジストパターンを用いたエッチングにより形成しているため、光スイッチの小型化及び高集積化を容易に行える。また、複数の光スイッチの相互間を接続する導波路の曲率を小さくすることができるため、高集積化に有利となる。

【0052】

また、半導体膜 104 をエッチングすることにより導波路 110, 120 を形成しているため、導波路 110, 120 を形成する工程を、トランジスタ等の半導体素子を形成する工程の一部に含ませることができる。またこの場合、同一の基板 100 上に光スイッチと半導体素子を形成することができるため、モノリシックな集積化が可能になる。

【0053】

また、半導体膜 104 及び導波路 110 を下部電極として使用しており、かつ導波路 110 は直接強誘電性液晶 144 に接している。従って、導波路 110 と強誘電性液晶 144 の間に配向膜を配置する場合と比較して、導波路 110 の等価屈折率変化が大きくなり、光スイッチを高性能にすることができる。

【0054】

尚、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。例えば第 1 の実施形態において、第 1 及び第 2 の方向性結合器 10, 40 の代わりに多モード干渉結合器を用いても良い。また、基板 100 はシリコン基板以外の半導体基板であってもよく、またガラス等他の材質で形成された基板であってもよい。

【0055】

また、第 1 の導波路 20 と第 2 の導波路 30 の長さは異なっていても良い。ただし、これら 2 つの導波路の長さの差を前記入力光の位相に換算した場合、該位相が 2 の整数倍である必要がある。入力光が複数の波長を有する場合、第 1 の導波路 20 と第 2 の導波路 30 の長さの差を複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、これら複数の位相は、それぞれ 2 の整数倍である必要がある。

【0056】

また、第 1 の導波路 20 の第 1 領域と、第 2 の導波路 30 の第 2 領域の長さも異なっていても良い。この場合においても、これら 2 つの領域の長さの差を前記入力光の位相に換算した場合、該位相が 2 の整数倍である必要がある。入力光が複数の波長を有する場合、第 1 領域と第 2 領域の長さの差を複数の波長それぞれにおける位相に換算した場合、これら複数の位相は、それぞれ 2 の整数倍である必要がある。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図 1】第 1 の実施形態に係る光スイッチの構成を説明する為の概略図。

【図 2】導波路を透過している光のうち TE 基本モードの強度分布を示すシミュレーション

10

20

30

40

50

ン結果を示すグラフ。

【図3】導波路の等価屈折率の変化 n が導波路の厚さによってどのように変化するかシミュレーションした結果を示すグラフ。

【図4】位相差を得るために必要な導波路長が、導波路の厚さによってどのように変化するかを計算したグラフ。

【図5】(A)は強誘電性液晶の屈折率と光の伝播方向すなわち導波路の延伸方向(Z)の関係を示す図、(B)は強誘電性液晶の配向方向と光の伝播方向の位置関係を説明するための図。

【図6】図5(A)に示した n_{LC} と強誘電性液晶分子の配向角度 θ の関係を計算した結果を示すグラフ。

【図7】強誘電性液晶 22, 32 に印加される電圧によって出力ポート 3, 4 から出力される光が切り替わる理由を説明する為の図。

【図8】第2の実施形態に係る光スイッチの構成を説明するための概略図。

【図9】第2の実施形態に係る光スイッチの製造方法を説明する為の図。

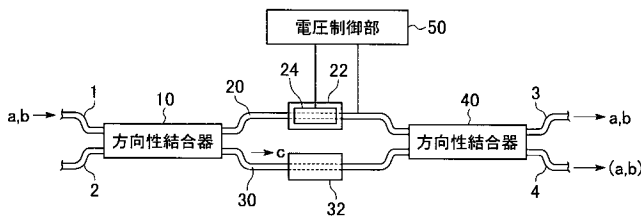
【図10】図9の次の工程を説明する為の図。

【符号の説明】

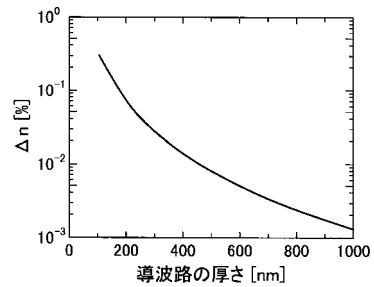
【0058】

1, 2...入力ポート、3, 4...出力ポート、10, 20, 110, 120...導波路、10, 40, 132, 134...方向性結合器

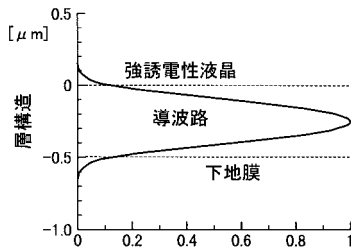
【図1】



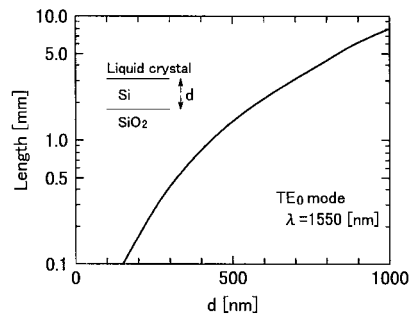
【図3】



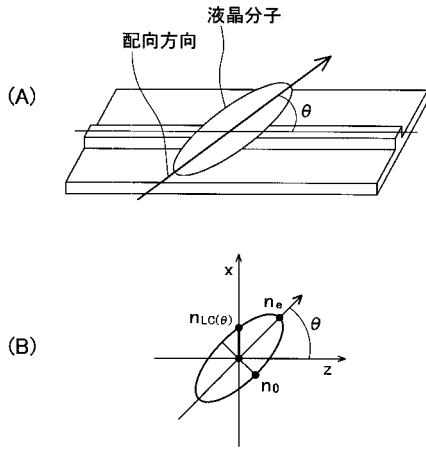
【図2】



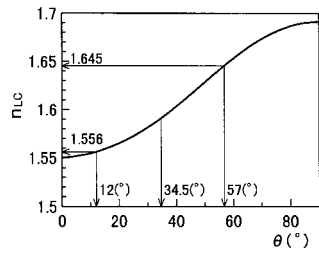
【図4】



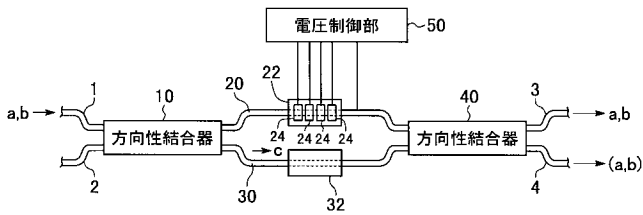
【 図 5 】



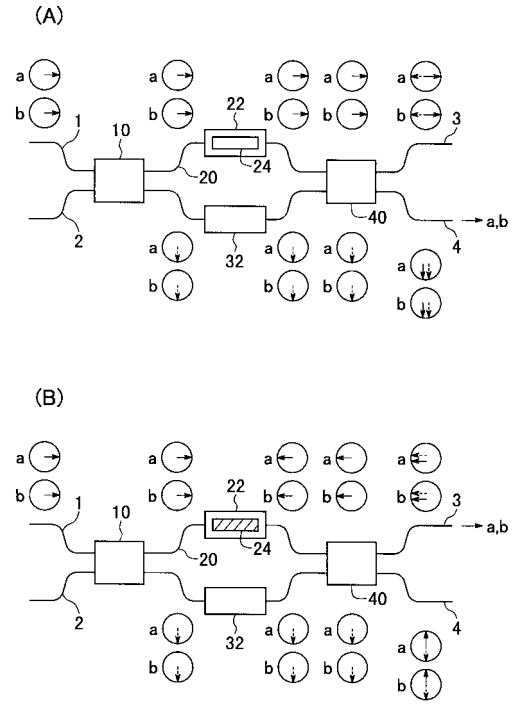
【 図 6 】



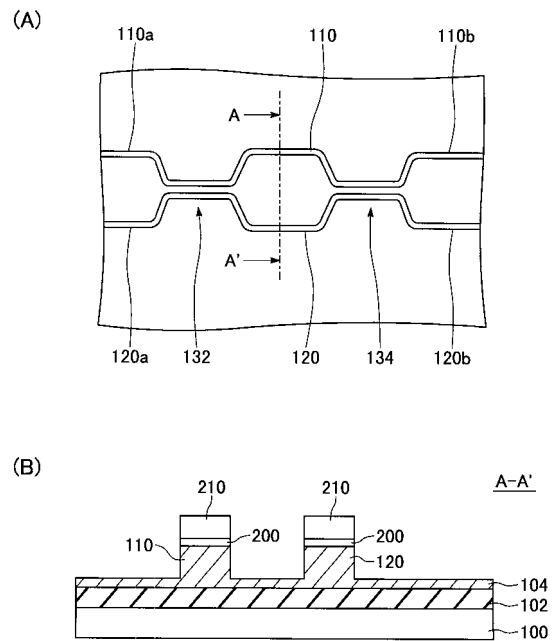
【 図 8 】



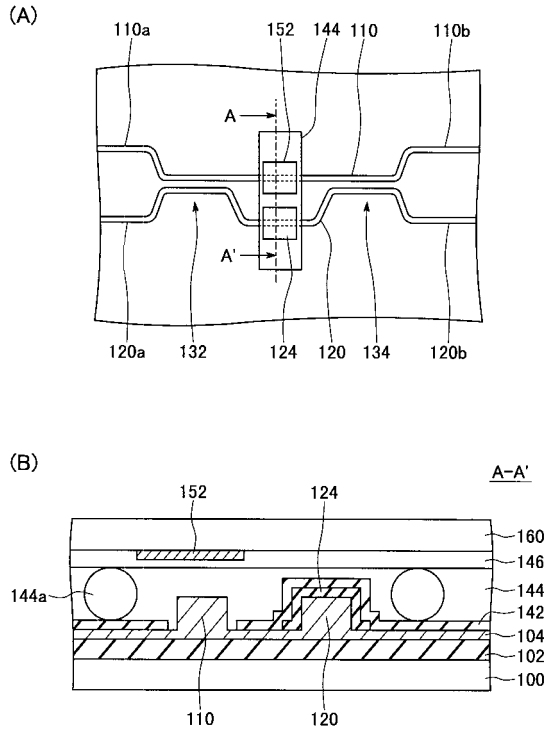
【 図 7 】



【 図 9 】



【図 10】



【手続補正書】

【提出日】平成19年3月13日(2007.3.13)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0022】

図5(A)は、強誘電性液晶の屈折率と光の伝播方向すなわち導波路の延伸方向(Z)の関係を示す図である(図5(B)参照)。本図に示すように、1軸光学結晶である液晶を屈折率楕円体で表現した場合、光の伝播方向に対する液晶の屈折率 n_{LC} は、下記(1)式で表現できる。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0041】

図9及び図10は、本発明の第3の実施形態に係る光スイッチの製造方法を説明する為の図である。各図において(A)は平面図であり、(B)は(A)のA-A'断面図である。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0057

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0057】

【図1】第1の実施形態に係る光スイッチの構成を説明する為の概略図。

【図2】導波路を透過している光のうちTE基本モードの強度分布を示すシミュレーション結果を示すグラフ。

【図3】導波路の等価屈折率の変化 n が導波路の厚さによってどのように変化するかシミュレーションした結果を示すグラフ。

【図4】位相差 ϕ を得るために必要な導波路長が、導波路の厚さによってどのように変化するかを計算したグラフ。

【図5】(A)は強誘電性液晶の屈折率と光の伝播方向すなわち導波路の延伸方向(Z)の関係を示す図、(B)は強誘電性液晶の配向方向と光の伝播方向の位置関係を説明するための図。

【図6】図5(A)に示した n_{LC} と強誘電性液晶分子の配向角度 θ の関係を計算した結果を示すグラフ。

【図7】強誘電性液晶 22, 32 に印加される電圧によって出力ポート 3, 4 から出力される光が切り替わる理由を説明する為の図。

【図8】第2の実施形態に係る光スイッチの構成を説明するための概略図。

【図9】第3の実施形態に係る光スイッチの製造方法を説明する為の図。

【図10】図9の次の工程を説明する為の図。

【手続補正4】

【補正対象書類名】図面

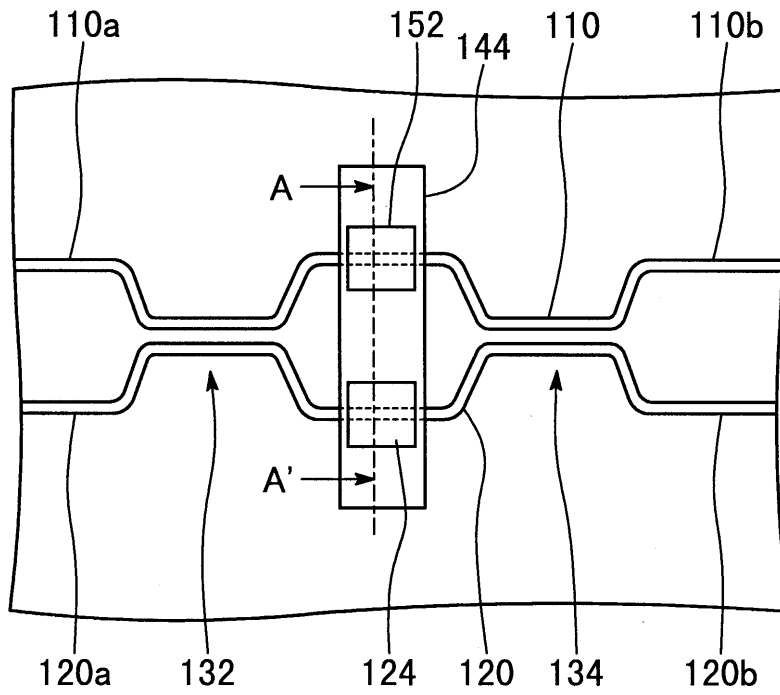
【補正対象項目名】図10

【補正方法】変更

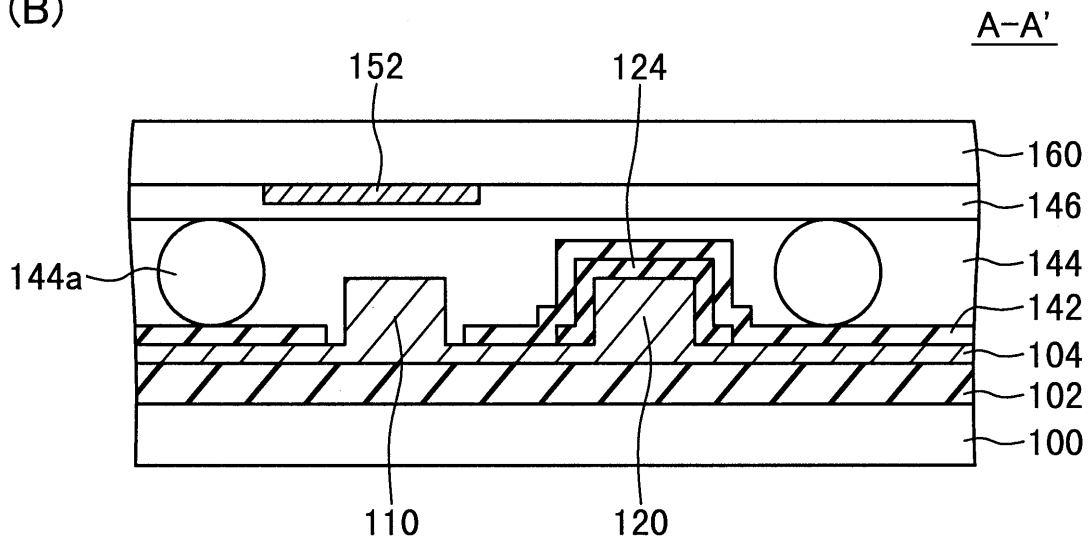
【補正の内容】

【 図 1 0 】

(A)



(B)



フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 豊和

神奈川県厚木市下荻野 1 0 3 0 神奈川工科大学工学部電気電子情報工学科内

(72)発明者 佐藤 宏樹

神奈川県厚木市下荻野 1 0 3 0 神奈川工科大学工学部電気電子情報工学科内

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA03 CA05 DA08 DA22 EA05 EB04 HA04