

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4792494号  
(P4792494)

(45) 発行日 平成23年10月12日(2011.10.12)

(24) 登録日 平成23年7月29日(2011.7.29)

(51) Int.Cl.

G02F 1/03 (2006.01)

F 1

G02F 1/03 502  
G02F 1/03 505

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2008-276657 (P2008-276657)  
 (22) 出願日 平成20年10月28日 (2008.10.28)  
 (65) 公開番号 特開2009-134279 (P2009-134279A)  
 (43) 公開日 平成21年6月18日 (2009.6.18)  
 審査請求日 平成22年6月17日 (2010.6.17)  
 (31) 優先権主張番号 特願2007-285036 (P2007-285036)  
 (32) 優先日 平成19年11月1日 (2007.11.1)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004064  
 日本碍子株式会社  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 (74) 代理人 100097490  
 弁理士 細田 益穂  
 (74) 代理人 100097504  
 弁理士 青木 純雄  
 (72) 発明者 井出 晃啓  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 日本碍子株式会社内  
 (72) 発明者 近藤 順悟  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 日本碍子株式会社内

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】

強誘電性材料からなり、第一の主面、第二の主面、一対の側面、光の入射面および出射面を備える光導波路基板、

前記第一の主面に形成されたチャンネル光導波路であって、少なくとも一対の分岐部、前記分岐部の合波部およびこの合波部の下流側の出射部を含んでいるチャンネル光導波路

、  
 前記分岐部を伝搬する光を変調する信号電圧を印加するための変調用電極であって、前記光導波路基板の前記第一の主面に形成された変調用電極、

補強基板、

前記光導波路基板の前記第二の主面を前記補強基板に接着する接着層、

前記光導波路基板の前記第一の主面に設けられた受光器、および

前記合波部からのO F F モードの漏れ光を反射し、前記第一の主面から出射させるための反射溝を備えており、前記反射溝が前記光導波路基板を前記第一の主面と前記第二の主面との間で貫通し、かつ前記接着層内まで延びてあり、前記O F F モードの漏れ光の光出力に基づいて、前記変調用電極に加わる直流バイアスを変化させることによって、前記光変調器の動作点を制御することを特徴とする、光変調器。

## 【請求項 2】

前記光導波路基板の厚さが0.5 μm以上、30 μm以下であることを特徴とする、請求項1記載の光変調器。

10

20

## 【請求項 3】

強誘電性材料からなり、第一の主面、第二の主面、一対の側面、光の入射面および出射面を備える光導波路基板、

前記第一の主面に形成されたチャンネル光導波路であって、少なくとも一対の分岐部、前記分岐部の合波部およびこの合波部の下流側の出射部を含んでいるチャンネル光導波路、

前記分岐部を伝搬する光を変調する信号電圧を印加するための変調用電極であって、前記光導波路基板の前記第一の主面に形成された変調用電極、

前記合波部からの信号光またはOFFモードの漏れ光を伝搬するガイド光導波路、  
補強基板、

前記光導波路基板の前記第二の主面を前記補強基板に接着する接着層、

前記光導波路基板の前記第一の主面に設けられた受光器、および

前記ガイド光導波路の出射端に接するように形成されており、前記信号光または前記OFFモードの漏れ光を前記第一の主面から前記光導波路基板外に出射させる反射溝を備えており、前記反射溝が前記光導波路基板を前記第一の主面と前記第二の主面との間で貫通し、かつ前記接着層内まで延びてあり、前記OFFモードの漏れ光の光出力に基づいて、前記変調用電極に加わる直流バイアスを変化させることによって、前記光変調器の動作点を制御することを特徴とする、光変調器。

## 【請求項 4】

前記光導波路基板の厚さが0.5μm以上、30μm以下であることを特徴とする、請求項3記載の光変調器。

## 【請求項 5】

強誘電性材料からなり、第一の主面、第二の主面、一対の側面、光の入射面および出射面を備える光導波路基板、

前記第一の主面側に形成されたチャンネル光導波路であって、少なくとも一対の分岐部、前記分岐部の合波部およびこの合波部の下流側の出射部を含んでいるチャンネル光導波路、

前記分岐部を伝搬する光を変調する信号電圧を印加するための変調用電極であって、前記光導波路基板の前記第一の主面に形成された変調用電極、

前記合波部からの信号光またはOFFモードの漏れ光を伝搬するガイド光導波路、  
補強基板、

前記光導波路基板の前記第二の主面を前記補強基板に接着する接着層、

前記光導波路基板の前記第一の主面に設けられた受光器、

前記ガイド光導波路の出射端に接するように形成されている溝であって、前記光導波路基板を前記第一の主面と前記第二の主面との間で貫通し、かつ前記接着層内まで延びている溝、および

前記溝に設けられており、前記信号光または前記OFFモードの漏れ光を前記第一の主面から前記光導波路基板外に出射させる反射板を備えており、前記OFFモードの漏れ光の光出力に基づいて、前記変調用電極に加わる直流バイアスを変化させることによって、前記光変調器の動作点を制御することを特徴とする、光変調器。

## 【請求項 6】

前記溝が、前記光導波路基板内において前記主面に対して垂直であることを特徴とする、請求項5記載の光変調器。

## 【請求項 7】

前記光導波路基板の厚さが0.5μm以上、30μm以下であることを特徴とする、請求項5または6記載の光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、いわゆるマッハツエンダー型の光導波路を使用した光変調器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

マッハツエンダー型の光導波路を使用した進行波型高速光変調器は波長帯域が広く、低チャーブ特性が得られることから注目されている。このタイプの光変調器においては、一对の分岐型光導波路にそれぞれ光を伝搬させ、各分岐部からの出力を合波部において合流させる。しかし、一对の分岐部の間では、温度差などの原因によって動作点シフトが生ずることがあり、またいわゆるDCドリフトが生ずることがある。一般的に、マッハツエンダー(MZ)型LN光変調器は、温度ドリフト、DCドリフト、および応力などによる経時変化によって動作点がシフトしてしまう。これは消光比が劣化してしまい、変調器を動作させる上で重要な課題であった。

【0003】

こうした動作点のシフトやDCドリフトを制御する方法は幾つか提案されている。代表的なものとして、特許文献1記載の方法では、一对の分岐部の合波部から基板内部に放射される基板放射モードの光に着目している。即ち、オンモードの場合には、光導波路に入射した光は導波路内を伝搬し、導波路の端面から出射する。オフモードの光をガイド光導波路で基板の光出射面へと伝搬させ、光出射面で光ファイバーで受光し、光検知器によって検知する。光検知器からの出力信号を利用し、変調用電極から光導波路に印加される電圧の直流バイアスを変更し、光変調器の動作点を調節している。

【特許文献1】WO 2006/090863 A1

【0004】

また、本出願人は、薄板構造の光変調器を開発しており、本構造において、ドリフトによる動作点制御を効率的に行う方法として特許文献2を開示した。20 μm以下に薄板化した基板は、有限の横幅(基板の横方向の幅)を有したスラブ導波路(通常は、デバイス構造設計上、横幅は無限大として取り扱われる)として機能するために、Y分岐の合波部で発生した横方向1次モード光はスラブモードとなり、低損失で薄板基板中を伝搬する。このスラブモード光は従来の変調器とは異なり、薄板基板中(スラブ導波路)に集中するために、十分な放射光強度を得ることが可能になった。

【特許文献2】特開2003-215518

【0005】

また、マッハツエンダー型光変調器のOFFモードの漏れ光取り出し手段が特許文献3に記載されている。この方法では、3dB方向性結合器を設ける。しかし、一般的に、導波路型方向性結合器は波長依存性が大きく、これによりOFFモードとONモードの消光比を得ることが困難である。

【特許文献3】特開2007-52465

【0006】

また、非導波路型として、チップへ接合する光ファイバアレイに、マッハツエンダー光導波路の合波部にて生じたOFFモードの漏れ光を反射させる部位を設ける方式が提案されている(特許文献4)。本方式の場合、消光比等の問題は発生しないが、光ファイバアレイに特殊加工を施す必要が生じ、構成部材のコスト増につながってしまう。

【特許文献4】特開2001-215455

【0007】

さらに、いわゆる方向性結合器やマルチモード干渉カプラ(MMI)の導波光を取り出す手段として、曲がり光導波路によってOFFモードの漏れ光をガイドし、曲がり光導波路の外側に溝形成を行う形態が提案されている(特許文献5)。

【特許文献5】特開2007-172000

【0008】

なお、特許文献6には、光表面実装用光学反射鏡を形成する方法が記載されている。即ち、基板上にチャンネル光導波路を形成し、基板表面に対して傾斜するスリット溝を機械

10

20

30

40

50

加工およびエッティングによって形成する。光導波路の末端を溝壁面とすることによって、光導波路を伝搬してきた光が溝壁面で反射され、基板表面から上方へと向かって射出する。基板表面に実装した電子部品によって、この反射光を受光する。

【特許文献 6】特開平 5 - 34526

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、従来の方法では、マッハツエンダー型光導波路の合波部から出射するO F F モードの漏れ光を受光器によって受光する際に、O F F モードの漏れ光の光強度が低く、受光効率を向上させることができないという問題があった。このため、汎用の受光器では、マッハツエンダー型光導波路の動作点の安定な制御に問題が生ずるおそれがあった。

【0010】

また、特に、特許文献 5 に記載のように、曲がり光導波路にO F F モードの漏れ光を伝搬させて側面に射出させる方法では、曲がり光導波路の曲率半径を小さくしてカーブを急峻にするとO F F モードの漏れ光の光損失が大きくなり、所望の光強度を安定して受光することができます困難になる。このため、曲がり光導波路のカーブはある程度緩くする必要があるが、そうすると光導波路基板のサイズが大きくなり、定格寸法を満足することができない。従って、やはりO F F モードの漏れ光の安定な受光が難しい。

【0011】

本発明の課題は、マッハツエンダー型光導波路の合波部から出射するO F F モードの漏れ光を受光器によって受光する際に、O F F モードの漏れ光の受光効率を向上させることで、マッハツエンダー型光導波路の動作点の制御を一層安定化させることである。

【0012】

また、本発明の課題は、マッハツエンダー型光導波路の合波部から出射するO F F モードの漏れ光あるいは信号光を受光器によって受光する際に、その受光効率を向上させることで、マッハツエンダー型光導波路の制御を一層安定化させることである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

第一の発明に係る光変調器は、

強誘電性材料からなり、第一の主面、第二の主面、一対の側面、光の入射面および出射面を備える光導波路基板、

第一の主面に形成されたチャンネル光導波路であって、少なくとも一対の分岐部、分岐部の合波部およびこの合波部の下流側の出射部を含んでいるチャンネル光導波路、

分岐部を伝搬する光を変調する信号電圧を印加するための変調用電極であって、光導波路基板の前記第一の主面に形成された変調用電極、

補強基板、

光導波路基板の第二の主面を補強基板に接着する接着層、

光導波路基板の第一の主面に設けられた受光器、および

合波部からのO F F モードの漏れ光を反射し、第一の主面から出射させるための反射溝を備えており、反射溝が光導波路基板を第一の主面と第二の主面との間で貫通し、かつ接着層内まで延びており、O F F モードの漏れ光の光出力に基づいて、変調用電極に加わる直流バイアスを変化させることによって、光変調器の動作点を制御することを特徴とする。

【0014】

第二の発明に係る光変調器は、

強誘電性材料からなり、第一の主面、第二の主面、一対の側面、光の入射面および出射面を備える光導波路基板、

第一の主面に形成されたチャンネル光導波路であって、少なくとも一対の分岐部、分岐部の合波部およびこの合波部の下流側の出射部を含んでいるチャンネル光導波路、

10

20

30

40

50

分岐部を伝搬する光を変調する信号電圧を印加するための変調用電極であって、光導波路基板の第一の主面に形成された変調用電極、

合波部からの信号光またはO F F モードの漏れ光を伝搬するガイド光導波路、

補強基板、

光導波路基板の第二の主面を補強基板に接着する接着層、

光導波路基板の第一の主面に設けられた受光器、および

ガイド光導波路の出射端に接するように形成されており、信号光またはO F F モードの漏れ光を第一の主面から光導波路基板外に出射させる反射溝を備えており、反射溝が光導波路基板を第一の主面と第二の主面との間で貫通し、かつ接着層内まで延びており、O F F モードの漏れ光の光出力に基づいて、変調用電極に加わる直流バイアスを変化させることによって、光変調器の動作点を制御することを特徴とする。

10

### 【0015】

第三の発明に係る光変調器は、

強誘電性材料からなり、第一の主面、第二の主面、一対の側面、光の入射面および出射面を備える光導波路基板、

第一の主面側に形成されたチャンネル光導波路であって、少なくとも一対の分岐部、分岐部の合波部およびこの合波部の下流側の出射部を含んでいるチャンネル光導波路、

分岐部を伝搬する光を変調する信号電圧を印加するための変調用電極であって、光導波路基板の第一の主面に形成された変調用電極、

20

合波部からの信号光またはO F F モードの漏れ光を伝搬するガイド光導波路、

補強基板、

光導波路基板の第二の主面を補強基板に接着する接着層、

光導波路基板の第一の主面に設けられた受光器、

ガイド光導波路の出射端に接するように形成されている溝であって、光導波路基板を前記第一の主面と前記第二の主面との間で貫通し、かつ前記接着層内まで延びている溝、および

溝に設けられており、信号光またはO F F モードの漏れ光を第一の主面から光導波路基板外に出射させる反射板を備えており、O F F モードの漏れ光の光出力に基づいて、変調用電極に加わる直流バイアスを変化させることによって、光変調器の動作点を制御することを特徴とする。

30

### 【発明の効果】

### 【0016】

第一の発明によれば、基板に反射溝を形成し、反射溝内は、空気もしくは基板屈折率よりも低屈折率の材料を充填する。これによって、マッハツエンダー型光導波路の合波部から基板内部へと出射するO F F モードの漏れ光を反射溝で反射させ、基板の上面から取り出し、基板表面側に実装された光学部品によって受光することができる。この方法によれば、光学部品と光導波路とが近いので、O F F モードの漏れ光の受光効率が高く、O F F モードの漏れ光を安定して受光し、動作点の制御に利用できる。

40

更に、溝が基板を貫通していない場合には、溝の底辺エッジにおいて、温度環境変動等により応力集中が発生しやすくなる。これにより該応力集中部を起点としたクラック等が伸展し、特性を害する懸念がある。このため、予め溝を基板の厚さ方向にて貫通させておくことで、エッジ部を起点とするクラック発生の可能性を払拭できる。

### 【0017】

第二の発明によれば、マッハツエンダー型光導波路の合波部より下流側に出射するO F F モードの漏れ光または信号光を、ガイド光導波路によってガイドする。このガイド光導波路の端面を反射溝に連結し、ガイド光導波路を伝搬してきた光をそのまま反射溝によって反射し、基板側面へと取り出す。この方法では、ガイド光導波路を大きくカーブさせる

50

ことなく、OFFモードの漏れ光あるいは信号光を高い効率で側面へと取り出すことができる。

【0018】

第三の発明によれば、マッハツエンダー型光導波路の合波部より下流側に出射するOFFモードの漏れ光または信号光を、ガイド光導波路によってガイドする。このガイド光導波路を伝搬してきた光を、そのまま溝内の反射板によって反射し、基板側面へと取り出す。この方法では、ガイド光導波路を大きくカーブさせることなく、OFFモードの漏れ光あるいは信号光を高い効率で側面へと取り出すことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

10

以下、適宜、例示図面を参照しつつ、本発明を更に詳細に説明する。

図1(a)は、第一の発明の一実施形態に係る光変調器20の模式的正面図であり、図1(b)は、光変調器20の模式的平面図である。

【0020】

光導波路基板1は、一対の正面1a、1c、一対の側面1b、光の入射面1d、出射面1eを備えている。光導波路基板1の正面1a側には、マッハツエンダー型の三次元光導波路4と、変調用電極2、3とが形成されている。光導波路4は、入射部4a、一対の分岐部4bおよび出射部4cを備えている。5は分岐点であり、6は合波部である。光導波路5を伝搬する光の制御方法や変調用電極の構成は周知であるので、説明を省略する。

【0021】

20

矢印Aのように入射面1dから入射した光は、分岐点5で分岐し、一対の分岐部4bを伝搬する間に変調を受け、合波部6で合波する。そして、得られた信号光は、光導波路の出射部4cの端面から出射する。光導波路基板1の出射側端面1eに光ファイバアレイを取り付けることによって、信号光を光ファイバーによって伝送する。

【0022】

一方、OFFモードの漏れ光Bは、合波部6付近から基板内部に射出する。本例では、基板1に反射溝7を形成しておくことによって、基板内部に放射した漏れ光Bを反射溝7で反射させ、上面1a側へと矢印Cのように射出させる。

【0023】

30

基板正面1aには受光素子8が実装されている。受光素子8は、受光した漏れ光Cを電気信号に変換し、自動バイアス制御回路12へと伝送する。自動バイアス制御回路12においては、漏れ光Cの情報から、適切な直流バイアス値を算出し、制御信号を矢印Dのようにバイアスティー回路13へと伝送し、必要に応じて直流バイアス値を変更する。

【0024】

本例によれば、基板1に反射溝7を形成し、反射溝7内は、空気もしくは基板屈折率よりも低屈折率の材料を充填する。これによって、マッハツエンダー型光導波路の合波部6から基板7内部へと出射するOFFモードの漏れ光Bを反射溝7で反射させ、基板の上面から取り出し、基板表面側に実装された光学部品8によって受光することができる。この方法によれば、反射溝と受光素子との間隔が小さく、OFFモードの漏れ光の受光効率が高く、OFFモードの漏れ光を安定して受光し、動作点の制御に利用できる。

40

【0025】

図2(a)は、本発明外の参考例に係る光変調器21を模式的に示す平面図であり、図2(b)は、光変調器21の部分拡大図である。

【0026】

光導波路基板1は、一対の正面1a、1c、一対の側面1b、光の入射面1d、出射面1eを備えている。光導波路基板1の正面1a側には、マッハツエンダー型の三次元光導波路4と、変調用電極2、3とが形成されている。光導波路4は、入射部4a、一対の分岐部4bおよび出射部4cを備えている。5は分岐点であり、6は合波部である。

【0027】

50

矢印 A のように入射面 1 d から入射した光は、分岐点 5 で分岐し、一対の分岐部 4 b を伝搬する間に変調を受け、合波部 6 で合波する。そして、得られた信号光は、光導波路の出射部 4 c の端面から出射する。光導波路基板 1 の出射側端面 1 e に光ファイバアレイを取り付けることによって、信号光を光ファイバーによって伝送する。

【 0 0 2 8 】

合波部 6 の近傍には、合波部 6 から出射する O F F モードの漏れ光をガイドするためのガイド光導波路 9 の末端を形成する。ガイド光導波路 9 と合波部 6 との間では、O F F モードの漏れ光のガイド光導波路へのシフトが可能になるように設計する。この結果、O F F モードの光は、合波部 6 からガイド光導波路 9 へと伝搬し、ガイド光導波路 9 内を矢印 B のように伝搬する。そして、基板 1 に形成された反射溝 1 0 の反射面 1 1 によって反射され、矢印 C のように側面 1 b へと伝搬し、側面 1 b から射出する。

10

【 0 0 2 9 】

基板側面 1 b 側に受光素子 8 を配置する。受光素子 8 は、受光した漏れ光 C を電気信号に変換し、自動バイアス制御回路 1 2 へと伝送する。自動バイアス制御回路 1 2 においては、漏れ光 C の情報から、適切な直流バイアス値を算出し、制御信号を矢印 D のようにバイアスティー回路 1 3 へと伝送し、必要に応じて直流バイアス値を変更する。

【 0 0 3 0 】

本例によれば、マッハツエンダー型光導波路 4 の合波部 6 からの O F F モードの漏れ光 B を、ガイド光導波路 9 によってガイドする。このガイド光導波路 9 の端面を反射溝 1 0 に連結し、ガイド光導波路を伝搬してきた光 B をそのまま反射溝 1 0 によって反射し、基板側面 1 b へと取り出す。この方法では、ガイド光導波路 9 を大きくカーブさせることなく、O F F モードの漏れ光 B を高い効率で側面 1 b へと取り出すことができる。

20

【 0 0 3 1 】

図 3 は、本発明外の参考例に係る光変調器 2 2 を模式的に示す平面図である。本例では、出射部 4 c からガイド光導波路 1 2 が分岐しており、合波後の信号光は、出射部 4 c からガイド光導波路 1 2 へと伝搬し、ガイド光導波路 1 2 内を矢印 E のように伝搬する。そして、基板 1 に形成された反射溝 1 0 によって反射され、矢印 C のように側面 1 b へと伝搬し、側面 1 b から射出する。基板側面 1 b 側に受光素子 8 を配置し、受光する。

【 0 0 3 2 】

30

図 4 ( a ) は、第一の発明および第二の発明に係る光変調器 3 0 を模式的に示す正面図であり、図 4 ( b ) は、光変調器 3 0 の平面図である。

【 0 0 3 3 】

本例の光変調器 3 0 は、図 1 の光変調器 2 0 と同様のものであるが、ただし合波部 6 から反射溝 7 へと向かって延びるガイド光導波路 2 9 を備えている。合波部 6 から射出した O F F モードの漏れ光は、ガイド光導波路 2 9 内を矢印 B のようにガイドされて伝搬し、反射溝 7 によって反射される。そして、基板 1 の主面 1 a に実装された受光素子 8 に向かって矢印 C のように入射し、受光される。

【 0 0 3 4 】

第一の発明、第二の発明、第三の発明において、補強基板、および光導波路基板を他方の主面側で補強基板と接着する接着層を設ける。例えば、図 5 に示す例では、補強基板 1 4 上に接着層 1 3 を介して光導波路基板 1 の他方の主面 1 c を支持している。

40

【 0 0 3 5 】

こうした実施形態においては、光導波路基板 1 を薄くし、スラブ導波路として機能させ、特に O F F モードの漏れ光を効率的に伝搬することが可能となる。この場合の基板厚さは、波長や周囲材料の誘電率に依存するが、0.5 μm 以上とすることが好ましく、また 30 μm 以下とすることが好ましい。この基板厚さが 0.5 μm 未満であると、いわゆるカットオフ状態となり易い。また、基板厚さが 30 μm を超えると、多モード伝搬が顕著となり易く、低損失での伝搬が困難となり易い。

50

## 【0036】

第一の発明、第二の発明において、反射溝は、光導波路基板を貫通している。また、第三の発明において、反射板を設置する溝は、光導波路基板を貫通している。例えば、図6の例では、反射溝7は基板1を貫通しており、反射溝7Aは基板1を貫通していない。反射溝7Aが基板1を貫通していない場合には、溝7Aの底辺エッヂ15において、温度環境変動等により応力集中が発生しやすくなる。これにより該応力集中部を起点としたクラック等が伸展し、特性を害する懸念がある。このため、反射溝7のように、予め反射溝を基板の厚さ方向にて貫通させておくことで、エッジ部15を起点とするクラック発生の可能性を払拭できる。

10

## 【0037】

溝形成の方法は限定されないが、機械加工である研削加工によって実施してよい。例えばチップ貼り合わせにより一括研削加工を行うことで、溝形成工数の削減を図ることが可能となる。また、ウエットエッティング、ドライエッティング、イオンミリング、レーザーアブレーション加工によって反射溝を形成できる。

## 【0038】

反射溝または反射板設置用の溝の中には空気であってよく、また真空であってよい。あるいは、反射溝の壁面には、光吸収性材料または光反射性材料からなる膜を形成することができる。こうした膜の形成方法は特に限定されず、化学的気相成長、スパッタリング、真空蒸着を例示できる。

20

## 【0039】

また、反射溝中には、低誘電率材料を充填することができる。低誘電率材料としては、ポリイミドなど有機樹脂材料や、無機ガラスを例示できる。

## 【0040】

第一の発明、第二の発明、第三の発明において、光検知器においては、光強度を測定することが好ましいが、光の位相や波長を測定することもできる。また、光検知器の種類は限定されないが、例えば、10Gb/sの電気信号で光の変調を行う場合には、検出するのに充分なバンド幅を持つ応答速度の速いInGaAs系の光検知器等が用いられる。

## 【0041】

第一の発明、第二の発明、第三の発明において、合波部の形態は限定されない。各分岐部は、合波部において交わっていてもよいが、空間的に離れていても良い。ただし、合波部において、各分岐部を伝搬してきた光エネルギーが合流可能なことが必要である。

30

## 【0042】

また、分岐部は、一対は必要であるが、複数対存在していてもよい。いわゆるカスケード型の光導波路であってよい。

## 【0043】

チャンネル光導波路、ガイド光導波路は、プロトン交換法、チタン内拡散法、金属イオン拡散法によって形成でき、あるいは、基板の表面を機械加工やレーザーアブレーション加工によって除去することで、リッジ型の三次元光導波路を形成することができる。

## 【0044】

好適な実施形態においては、チャンネル光導波路、ガイド導波路が、基板から突出するリッジ型光導波路である。こうした光導波路は、上述の方法で形成できる。あるいは、スラブ型光導波路の表面に、高屈折率膜を、例えば化学的気相成長法、物理的気相成長法、有機金属化学的気相成長法、スパッタリング法、液相エピタキシャル法によって形成し、この高屈折率膜を機械加工やレーザーアブレーション加工することによって、リッジ型の三次元光導波路を形成できる。

40

## 【0045】

光変調器の基板を構成する材料は、強誘電性単結晶が好ましく、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、ニオブ酸カリウムリチウム、タンタル酸カリウムリチウム、ニオブ酸カリウムリチウム-タンタル酸カリウム

50

リチウム固溶体、KTPを例示できる。

【0046】

補強基板を構成する材料としては、前述のような強誘電性単結晶、ガラス、樹脂を好適に使用できる。補強基板と光導波路基板との接着剤としては、ガラスや樹脂が好ましい。

【0047】

前述のガラスとしては、低誘電率で接着温度（作業温度）が約600以下のが好ましい。また、加工の際に十分な接着強度が得られるものが好ましい。具体的には、酸化珪素、酸化鉛、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化カルシウム、酸化ホウ素等の組成を複数組み合わせた、いわゆるはんだガラスが好ましい。前述の樹脂としては、室温硬化、加熱硬化、紫外線硬化型樹脂が好ましく、低誘電率の樹脂が好ましい。実際には、10エポキシ系、アクリル系、ウレタン系の樹脂が特に好ましい。

【0048】

図7は、OFFモードの漏れ光をガイドするガイド光導波路9と合波部6の接続部分を拡大して示す模式図である。出射部4cとガイド光導波路9との間にはギャップ35が形成されている。

【0049】

図7のようなガイド光導波路を形成した場合には、合波部6からのギャップG、ガイド光導波路の幅W、ガイド光導波路の曲率半径Rが、設計パラメータとなる。

【0050】

合波部の下流で信号光を分岐させるためのガイド導波路の例を図8に示す。図8に示すように、分岐したガイド光導波路12の設計パラメータは、射出部4cの中心軸からのガイド光導波路9の傾斜角度θ、およびガイド光導波路の線幅Wである。20

【0051】

また、出射部から分岐したガイド導波路の例として、漏れ光導波路にて用いた曲げ導波路を、漏れ光導波路での設計より近づけることで、主導波路からの浸み出し光を伝播させて分岐導波路としても良い。図9に本設計の概念図を示す。基本的に漏れ光導波路のRを用いた導波路と同様であるが、ギャップ24の寸法Gを小さくしていることが特徴である。通常の方向性結合器においては、主導波路と平行の導波路を配置することで、所定の特性を得る。一方本曲げ導波路を用いた設計の場合、R部によって所望の特性を得ることとなる。特徴としては、結合当初から、Rが開始されるため、最終的に主導波路に対して遠い位置に分岐導波路を持っていくことが可能になる。30

【0052】

なお、図10に示す例では、ガイド光導波路9の末端が反射溝10に連結しており、ガイド光導波路9を伝搬してきた光Bは反射溝10によって反射される。ここで、第二のガイド光導波路37を形成し、反射溝10で反射された光をガイド光導波路37で側面1bへと伝搬させ、側面1bへと取り出すことができる。これによって取り出し効率を一層改善できる。

【0053】

第一の発明、第二の発明、第三の発明において、溝加工部の基板表面にチッピングによるカケがあると光が散乱されてしまい、受光効率が低下することがわかった。この関係を図11に示す。この観点から、チッピングによるカケは10μm以下が好ましく、さらには、6μm以下にすることが好ましく、5μm以下とすることが特に好ましい。特に、第二の発明、第三の発明においては、ガイド光導波路端部のチッピングによるカケをこの範囲とすることが特に好ましい。

【0054】

第三の発明においては、光の反射機構について、反射溝でなく、溝（スリット）に設置した反射板を使用する。

【0055】

図12(a)は、第三の発明に係る光変調器の要部を示す正面図であり、図12(b)は、溝および反射板の拡大図である。

10

20

30

40

50

## 【0056】

図12の例では、反射板による反射光を、図4に示す基板1の主面1aに実装された受光素子8に受光させる場合である。溝25は基板1を貫通し、接着層13内的一部分まで貫通するように設けられている。溝25の幅は一定であり、かつ溝25の壁面は、上面1aに対して傾斜角度θをなしている。溝25内には反射板27が設置されており、接着剤26によって溝内に固定されている。ガイド光導波路からの光Bは、反射面27aで反射され、矢印Cのように上方へと伝搬し、受光素子に入る。

## 【0057】

スリットの角度(光導波路基板1の主面1aに対しての溝の傾斜角度)θは特に制限されず、反射板の位置および形状によって、どのような方向にも反射することができる。

10

## 【0058】

ただし、上記の溝加工時のチッピングによるカケを減少させるためには、溝の傾斜角度θを出来る限り大きくすることが好ましい。この観点からは、θを40°以上とすることが好ましく、45°以上とすることが更に好ましい。

## 【0059】

一方、傾斜角度θを大きくしすぎると、反射光の光導波路基板からの出射角度が水平面近くになることから、受光素子8の実装が困難になる。このことから傾斜角度の上限値は86°以下とすることが好ましい。

## 【0060】

また、図13に示すような例では、光導波路基板内において主面に対して垂直な溝を形成する。本構造では、反射板27を固定するために溝25aが形成されている。溝25aは、光導波路基板1を貫通する溝25aと、接着層13内に形成された溝25bとを備えている。溝25aは、上面1aに対して垂直である。接着層13内に形成された溝25bは、上面1aに対して角度θ傾斜している。反射板27は、溝25aおよび溝25b内も挿入されており、固定されている。

20

## 【0061】

ガイド光導波路からの出射光は、反射板27の反射面27aで反射され、基板1の主面1aに実装された受光素子8に受光される。また、図13のように導波路基板部は垂直にスリット加工されており(25a)、スリット加工によるチッピングの影響を受けず高効率で受光素子に光を供給することができる。

30

## 【0062】

反射板は、ガイド光導波路からの出射光を全反射できるものであることが好ましい。反射板の材質は、熱膨張を合わせるという観点では、光導波路基板について前述したような材料であってもよい。具体的には、強誘電性単結晶が好ましく、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、ニオブ酸カリウムリチウム、タンタル酸カリウムリチウム、ニオブ酸カリウムリチウム-タンタル酸カリウムリチウム固溶体、KTPを例示できる。

## 【0063】

また、反射板の少なくとも反射面側には、反射率の高い材質をコーティングすることができる。このようなコーティング材としては、金、アルミニウムなどの金属膜や誘電体多層膜を例示できる。

40

## 【0064】

溝で反射板を固定するための接着剤としては、光導波路基板よりも低屈折率であれば特に限定されず、前述したガラスや樹脂を例示できる。

## 【0065】

## (実験A)

以下、図4に示す光変調器を作製し、実験した。

具体的には、光導波路基板1をニオブ酸リチウム単結晶から形成した。基板は3インチ基板を用いた。

先ず厚さ1mmの3インチニオブ酸リチウム基板にチタン拡散導波路4を形成した。Ti

50

線幅は3.6umとし、途中Y型分岐をさせるいわゆるMZ(マッハツエンダー)型導波路とした。さらにMZ導波路合波部6から10um程度ギャップを設け、漏れ光をガイドするガイド光導波路29を形成した。このチタン導波路パターンを1031にて熱拡散させ、光導波路とした。次に、電極2、3をめつき加工により形成した。電極ギャップは15μmとし、電極厚さは15μmとした。

#### 【0066】

次に、ニオブ酸リチウム単結晶基板の薄板加工を実施した。先ずニオブ酸リチウム基板1の正面1aにワックスを塗布し、ダミー用ニオブ酸リチウム基板(厚さ1mm)に貼り付けた。この状態にて、パターン付きニオブ酸リチウム基板1の裏面1cを研磨加工にて削り込み、厚さ7μmまで薄板加工を実施した。さらにこの加工後のパターン付きニオブ酸リチウム基板1の裏面に厚さ約50umのシート樹脂を介して補強用ニオブ酸リチウム基板14(図5参照)を貼り付け、最後に当初のダミー基板を取り外した。最後にチップ切断及び端面研磨加工を実施し、チップとした。

#### 【0067】

このチップ上に形成されている漏れ光ガイド導波路29の終端付近にスリット形状の反射溝7を施した。反射溝7は、幅50umの砥石にて研削加工にて形成した。溝9の方向は、基板1の正面1aに対して傾斜を付与し、その傾斜角度は45°とした。これによりチップ上面に、漏れ光ガイド導波路29を伝播してきたOFFモードの漏れ光を取り出し、受光器(Photo Detector)にて受光し、電流として出力させた。結果として、MZ導波路への光入力に対するOFFモードの漏れ光の受光効率は10mA/Wとなり、現実使用し得るレベルとなった。

#### 【0068】

##### (実験B)

以下、図12および図4に示す光変調器を作製し、実験した。

具体的には、光導波路基板1をニオブ酸リチウム単結晶から形成した。基板は3インチ基板を用いた。

先ず厚さ1mmの3インチニオブ酸リチウム基板にチタン拡散導波路4を形成した。Ti線幅は3.6umとし、途中Y型分岐をさせるいわゆるMZ(マッハツエンダー)型導波路とした。さらにMZ導波路合波部6から10um程度ギャップを設け、漏れ光をガイドするガイド光導波路29を形成した。このチタン導波路パターンを1031にて熱拡散させ、光導波路とした。次に、電極2、3をめつき加工により形成した。電極ギャップは15μmとし、電極厚さは15μmとした。

#### 【0069】

次に、ニオブ酸リチウム単結晶基板の薄板加工を実施した。先ずニオブ酸リチウム基板1の正面1aにワックスを塗布し、ダミー用ニオブ酸リチウム基板(厚さ1mm)に貼り付けた。この状態にて、パターン付きニオブ酸リチウム基板1の裏面1cを研磨加工にて削り込み、厚さ7μmまで薄板加工を実施した。さらにこの加工後のパターン付きニオブ酸リチウム基板1の裏面に厚さ約50umのシート樹脂を介して補強用ニオブ酸リチウム基板14(図5参照)を貼り付け、最後に当初のダミー基板を取り外した。最後にチップ切断及び端面研磨加工を実施し、チップとした。

#### 【0070】

このチップ上に形成されている漏れ光ガイド導波路29の終端付近にスリット形状の溝25を施した。溝25は、幅50umの砥石にて研削加工にて形成した。溝25の傾斜角度は45°とした。溝25内に樹脂接着剤によって反射板27を設置した。反射板27は石英にTi/Pt/Auを蒸着し、これを45um幅に加工を行ったものを用いて前記スリットに挿入した。これによりチップ上面に、漏れ光ガイド導波路29を伝播してきたOFFモードの漏れ光を取り出し、受光器(Photo Detector)にて受光し、電流として出力させた。結果として、MZ導波路への光入力に対するOFFモードの漏れ光の受光効率は10mA/Wとなり、現実使用し得るレベルとなった。

#### 【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

〔 0 0 7 1 〕

【図1】(a)は、第一の発明に係る光変調器20を模式的に示す正面図であり、(b)は、光変調器20を模式的に示す正面図である。

【図2】(a)は、第二の発明に係る光変調器21を模式的に示す正面図であり、(b)は、光変調器21の部分拡大図である。

【図3】参考例に係る光変調器22を模式的に示す平面図である。

【図4】(a)は、参考例に係る光変調器30を模式的に示す正面図であり、(b)は、光変調器30を模式的に示す正面図である。

【図5】図1の基板1を接着層13を介して補強基板14へと接着した状態を模式的に示す図である。

【図6】反射溝7、7Aの断面形状を示す図である。

【図7】OFFモードの漏れ光用のガイド光導波路9と光導波路4との位置関係を示す平面図である。

【図8】分岐型のガイド光導波路12とチャンネル光導波路との位置関係を示す平面図である。

【図9】曲折したガイド光導波路23とチャンネル光導波路4との位置関係を示す平面図である。

【図10】反射溝10から側面1bへと至る第二のガイド光導波路を形成した状態を示す平面図である。

【図11】溝の力ヶと受光感度との関係を示すグラフである。

【図12】(a)は、第三の発明に係る光変調器の構成を示す模式的正面図であり、(b)は、(a)の光変調器の構および反射板を示す断面図である。

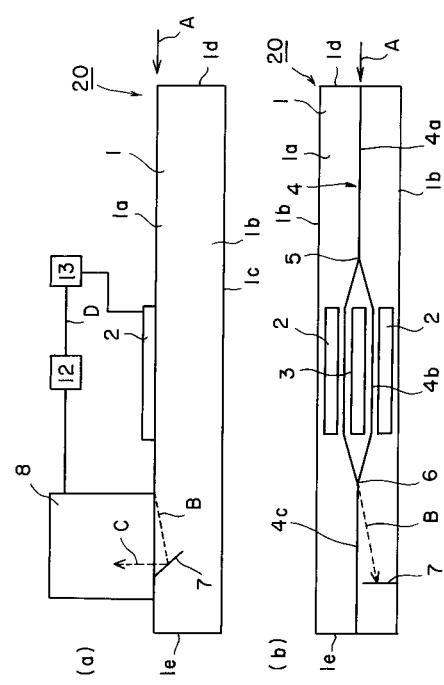
【図13】他の実施形態に係る溝および反射板の形態を示す断面図である。

### 【符号の説明】

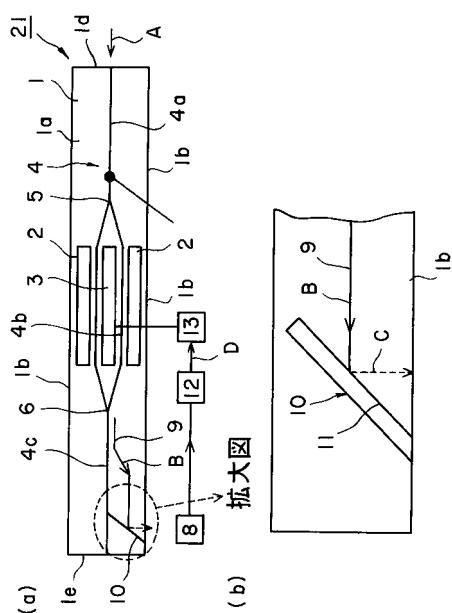
【 0 0 7 2 】

1	光導波路基板	1 a、1 c	正面	1 b	側面	
1 d	入射面	1 e	出射面	2	接地電極	3 信号
電極	4	チャンネル光導波路		4 a	入射部	4 b
分岐部	4 c	出射部	5	分岐点	6	合波部
7、7 A、10	反射溝	8	光学素子	12	自動バイア	30
ス制御回路	13	バイアスティー回路		20、21、22、30		
光変調器	25、25 A	溝	27	反射板	27 a	
反射面	A	入射光	B	O F F モードの漏れ光		C
反射された漏れ光						

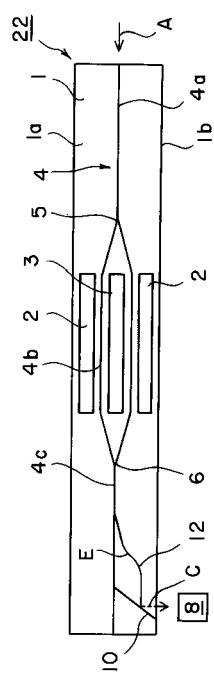
【図1】



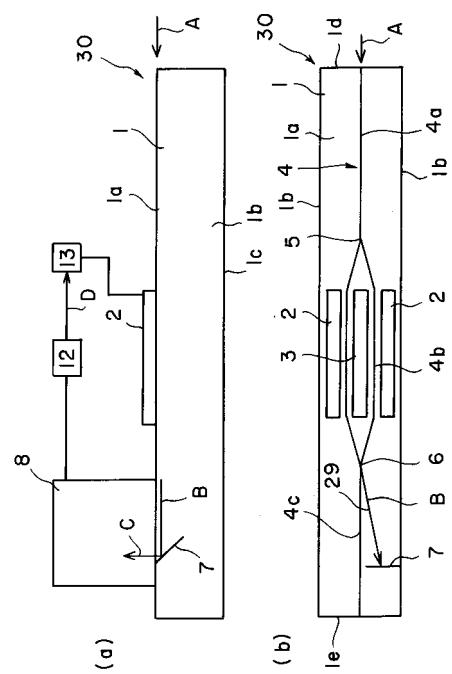
【図2】



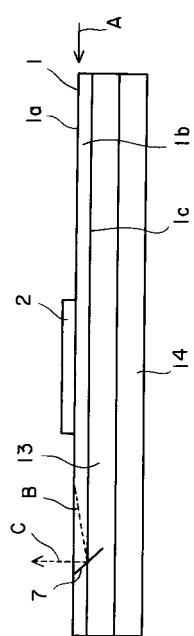
【図3】



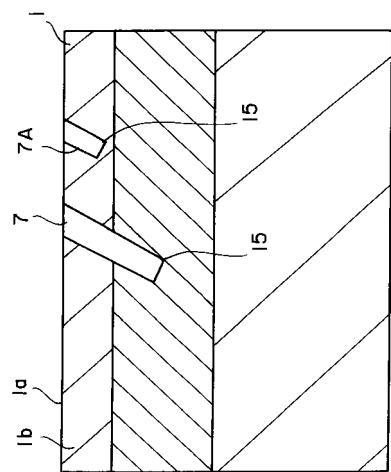
【図4】



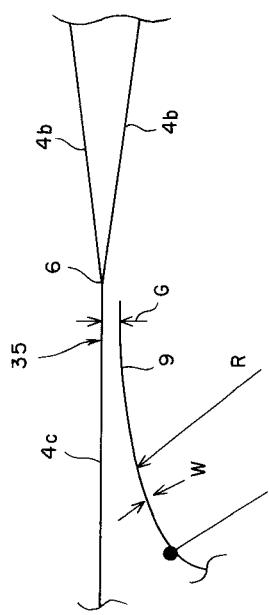
【図5】



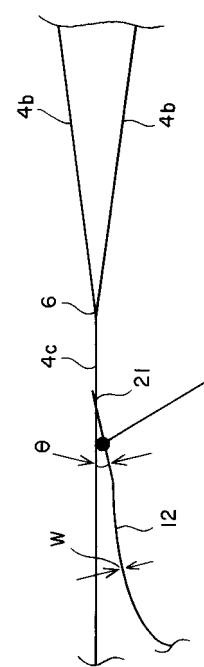
【図6】



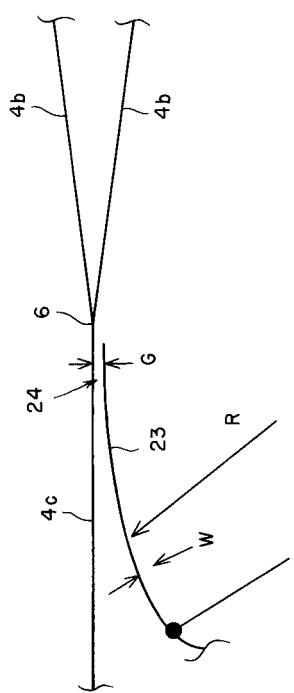
【図7】



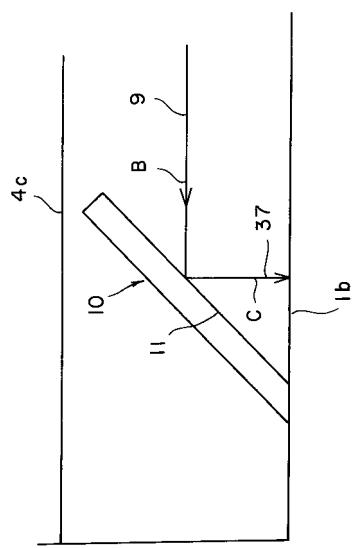
【図8】



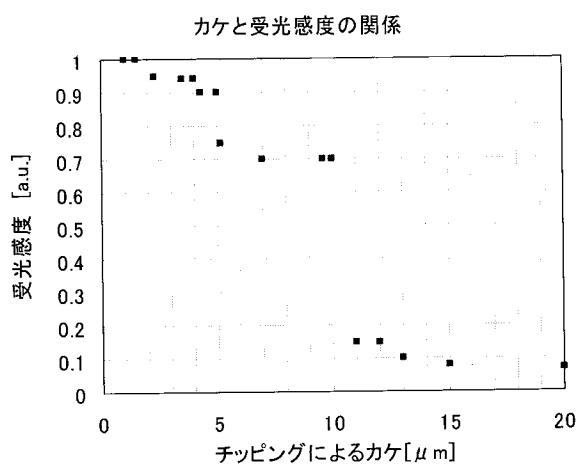
【図9】



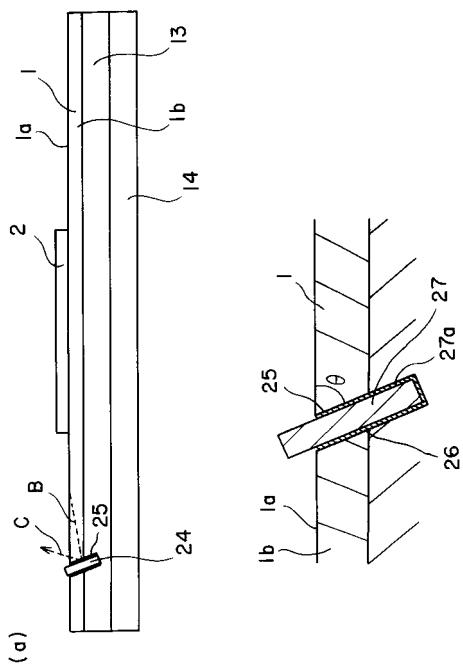
【図10】



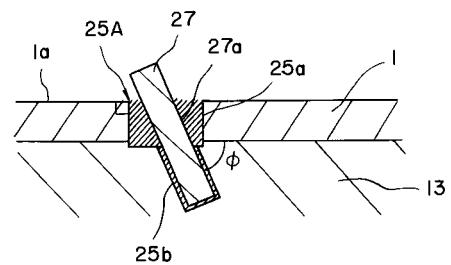
【図11】



【図12】



【図13】



---

フロントページの続き

(72)発明者 三富 修

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

(72)発明者 岩崎 康範

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

(72)発明者 小林 弘季

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

審査官 山本 貴一

(56)参考文献 特開2007-225672(JP, A)

特開2006-301612(JP, A)

特開2004-163675(JP, A)

特開2003-215518(JP, A)

特開平11-052154(JP, A)

特開平05-134220(JP, A)

特開平05-034526(JP, A)

特開平03-179306(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/10-6/122, 6/42, 6/43

G02F 1/00-1/065

H04B 10/00-10/06