

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-15545

(43)公開日 平成9年(1997)1月17日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/035

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 F 1/035

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-159499

(22)出願日 平成7年(1995)6月26日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 宮澤 弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 三富 修

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 野口 一人

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

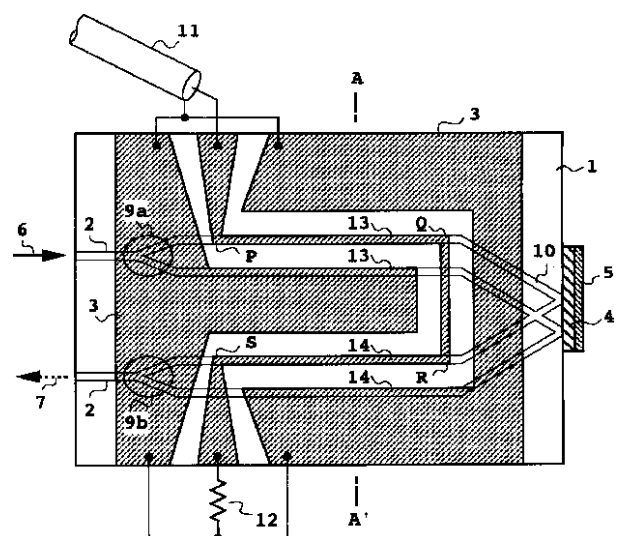
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 偏波無依存光制御素子

(57)【要約】

【目的】 低駆動電圧で高速動作が可能な、小型で入力光の偏波状態に依存しない偏波無依存光制御素子を提供する。

【構成】 電気光学効果を有する光学基板の表面付近に光導波路が形成され、該光導波路が形成された前記光学基板面上に進行波型電極が配置され、前記電極にマイクロ波を印加して誘起される電圧により前記光導波路と前記電極との相互作用領域が形成される素子において、波長板および反射層を有するとともに光偏波面を実質的に90°前後回転して折り返す折り返し部を前記光導波路の少なくとも一ヶ所に具備させ、また相互作用部におけるマイクロ波と光との実効的な走行時間あるいは電圧がほぼ一致するように、該光導波路や該折り返し光導波路の長さや繰返し数、および前記進行波型電極の長さや分割数を設定する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電気光学効果を有する光学基板と、該光学基板の表面付近に形成された光導波路と、該光導波路が形成された前記光学基板面上に配置された進行波型電極とを備え、前記電極にマイクロ波を印加して誘起される電圧により前記光導波路と前記電極との相互作用領域が形成される偏波無依存光制御素子であって、波長板および反射層を有するとともに光偏波面を実質的に 90° 前後回転して折り返す折り返し部を前記光導波路の少なくとも一ヶ所に具備し、かつ前記光導波路、前記折り返し光導波路および前記進行波型電極の長さを、前記相互作用部におけるマイクロ波と光との実効的な走行時間がほぼ一致する長さに、設定したことを特徴とする偏波無依存光制御素子。

【請求項 2】 電気光学効果を有する光学基板と、該光学基板の表面付近に形成された光導波路と、該光導波路が形成された前記光学基板面上に配置された進行波型電極とを備え、前記電極にマイクロ波を印加して誘起される電圧により前記光導波路と前記電極との相互作用領域が形成される偏波無依存光制御素子であって、波長板および反射層を有するとともに光偏波面を実質的に 90° 前後回転して折り返す折り返し部を前記光導波路の少なくとも一ヶ所に具備し、かつ前記光導波路、前記折り返し光導波路および前記進行波型電極の長さを、直交する伝搬光モードの前記相互作用部におけるマイクロ波の実効的な電圧の総和がほぼ一致する長さに、設定したことを特徴とする偏波無依存光制御素子。

【請求項 3】 前記進行波型電極を二つ以上に分割したことを特徴とする請求項 2 に記載の偏波無依存光制御素子。

【請求項 4】 前記光導波路の折り返し部を二つ以上具備したことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の偏波無依存光制御素子。

【請求項 5】 前記光導波路、前記折り返し光導波路および前記進行波型電極の長さを、前記相互作用部におけるマイクロ波と光との実効的な走行時間がほぼ一致する長さに、設定したことを特徴とする請求項 2 ないし 4 のいずれかに記載の偏波無依存光制御素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光変調器や光スイッチなどの光制御素子の中で、小型で駆動電圧が小さく高速動作が可能で、かつ入力光の偏波状態に依存しない偏波無依存光制御素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】高速かつ大容量の光伝送システムや、光*

$$V_p \cdot L = \Gamma$$

Γ：光変調器の材質、構造等により決まる定数
で示される関係があるため、従来例においては、TMモードに対する定数ΓをΓ(TM)とし、TEモードに対

* 交換システムにおいては、高速で駆動するために、駆動電圧が小さい光制御素子が有用である。この種の光制御素子の一例としては、光スイッチや位相変調器や、光強度変調器等があり、基本技術として、プリズムや光ファイバを機械的に移動させるメカニカル型、石英系ガラス導波路等で用いられる熱光学効果型、Ti 拡散 LiNbO₃ 導波路等で用いられる電気光学効果型、等に大別される。この中でメカニカル型や熱光学効果型の光制御素子は偏波依存性はないが、その応答速度は 1 msec 程度以上と遅いという問題がある。

【0003】一方、電気光学効果型光制御素子は、応答速度が極めて速いという特徴を持っている。しかしながら、同じ電圧あるいは電界を印加しても、屈折率変化が光の偏波方向によって異なり、その動作が偏波方向に依存したものになってしまうという問題があった。

【0004】従来の光制御素子としてマッハツェンダ型光強度変調器の例を、図 15 および 16 に示す。図 15 は該光強度変調器の透視的に見た平面図であり、図 16 は図 15 の A - A' 線に沿う断面図である。

【0005】この光強度変調器では、例えば、電気光学効果を有する z 板 LiNbO₃ 基板 1 に、Ti 熱拡散により光導波路 2 が形成されている。この基板 1 の上には SiO₂ パツファ層 8 が 0.3 ~ 1 μm 程度形成され、パツファ層 8 の上には進行波型電極 3 が形成されている。進行波型電極 3 間に給電線 11 からマイクロ波電圧 V が供給される。

【0006】ここで、強度が一定の入射光 6 を光導波路 2 に入射させると、光はマッハツェンダ干渉計を構成する Y 分岐部 9 a で二つの光導波路にパワーを分配する。光導波路 2、2 と、電極 3 に印加した電圧とが相互作用する領域で、その入力電圧に応じて光の屈折率あるいは位相が変化し、Y 分岐部 9 b で光が干渉し合い出射光 7 の強度が変化する。

【0007】このような光導波路 2 内では、基板面に垂直な電界成分を有する TM モードと水平方向に電界成分を有する TE モードと呼ばれる直交する二つの偏波モードが伝搬する。光導波路 2 と、電極 3 に印加した電圧とが相互作用する領域（領域の長さを L とする）では、光の伝搬方向を LiNbO₃ 結晶の x 軸方向とし、光導波路 2 内における実効的な電界を E_z とした場合、TM モードに対する屈折率変化 Δn(TM) は TE モードに対する屈折率変化 Δn(TE) の約 3 倍である。ここで、駆動電圧 V_p と相互作用長 L とは、

【0008】

【数 1】

$$\dots (1)$$

する定数 Γ を Γ(TE) とすると、

【0009】

【数 2】

3

$$\Gamma(T E) \sim 3 \Gamma(T M)$$

と表記できる。

【0010】この光強度変調器の場合、進行波型電極 3 は分布定数回路として構成されているので、理想的には電気回路的な帯域制限はない。しかし、実際にはマイクロ波と光には位相速度差があり、これによって動作周波数の上限が制限される。

【0011】マイクロ波に対する基板の実効的な屈折率*

$$f_v = 1.4c / (\pi L |n_m - n_0|)$$

ただし、c は真空中における光速である。上記屈折率 n_m は基板の実効的な比誘電率 ϵ_{eff} に対して、

$$n_m = \epsilon_{eff}^{1/2}$$

で与えられる。

【0014】電気光学効果を持つ基板材料では、一般にマイクロ波に対する屈折率 n_m は、光に対する屈折率 n_0 とは必ずしも一致しない。基板の実効的な比誘電率 ϵ_{eff} は、構造や材質によって異なるが、従来例においては n_m が 3.2 程度の値となる。

【0015】図 17 は、図 15、図 16 の光強度変調器において、電極の長さ（相互作用長）を 20 mm とした場合に、波長 1.3 μm において得られた特性の一例である。光が ON/OFF するのに要する電圧（駆動電圧）は $V_p(T M)$ が 5 V であるのに対し、 $V_p(T E)$ は 15 V であった。これは、上述した (1) 式および (2) 式の関係から推定される値と一致している。なお、周波数帯域としては、TM モードの屈折率 $n_0(T M) = 2.15$ 、TE モードの屈折率 $n_0(T E) = 2.22$ で、屈折率 n_m は屈折率 n_0 の約 1.5 倍の大きさになるので、式 (3) から 7 GHz 程度になる。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来例によれば、TM および TE モードとも同時に ON/OFF する場合には、電圧がそれぞれ 0 V および 15 V において達成されるため、駆動電圧として最低 15 V 必要であり、高速で動作させる場合に駆動電源にとって大きな負担となる。

【0017】また、光強度変調器の高速動作化は、上記 (3) 式から明らかなように、動作周波数に応じて、相互作用長 L を短くすることにより達成できるものの、相互作用長 L を短くすると、上記 (1) 式で示されるように、駆動電圧が大きくなるという欠点があった。

【0018】さらに、両モードの OFF 電圧がずれると、消光比劣化が生じてしまい、システム上許容される消光比を確保できなくなることが予想される。

【0019】本発明の課題は、上述した従来の問題点を解消し、低駆動電圧で高速動作が可能な、小型で入力光の偏波状態に依存しない偏波無依存光制御素子を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記課題を達成するた

4

$$\dots (2)$$

* を n_m 、光に対する光導波路の実効的な屈折率を n_0 と表すと、この位相速度によって生じる上限周波数 f_v は、次式で与えられる [参考文献：信学論 (C), J 64 - C, p 264 - 271, 1981]。

【0012】

【数 3】

$$\dots (3)$$

【0013】

【数 4】

$$\dots (4)$$

め、本発明の請求項 1 の偏波無依存光制御素子は、電気光学効果を有する光学基板と、該光学基板の表面付近に形成された光導波路と、該光導波路が形成された前記光学基板面上に配置された進行波型電極とを備え、前記電極にマイクロ波を印加して誘起される電圧により前記光導波路と前記電極との相互作用領域が形成される偏波無依存光制御素子であって、波長板および反射層を有するとともに光偏波面を実質的に 90° 前後回転して折り返す折り返し部を前記光導波路の少なくとも一ヶ所に具備し、かつ前記光導波路、前記折り返し光導波路および前記進行波型電極の長さを、前記相互作用部におけるマイクロ波と光との実効的な走行時間がほぼ一致する長さに、設定したことを特徴とする。

【0021】また、本発明の請求項 2 の偏波無依存光制御素子は、電気光学効果を有する光学基板と、該光学基板の表面付近に形成された光導波路と、該光導波路が形成された前記光学基板面上に配置された進行波型電極とを備え、前記電極にマイクロ波を印加して誘起される電圧により前記光導波路と前記電極との相互作用領域が形成される偏波無依存光制御素子であって、波長板および反射層を有するとともに光偏波面を実質的に 90° 前後回転して折り返す折り返し部を前記光導波路の少なくとも一ヶ所に具備し、かつ前記光導波路、前記折り返し光導波路および前記進行波型電極の長さを、直交する伝搬光モードの前記相互作用部におけるマイクロ波の実効的な電圧の総和がほぼ一致する長さに、設定したことを特徴とする。

【0022】本発明の請求項 3 の偏波無依存性光制御素子は、前記請求項 2 の光制御素子において、進行波型電極を二つ以上に分割したことを特徴とする。

【0023】本発明の請求項 4 の偏波無依存光制御素子は、前記請求項 2 または 3 に記載の光制御素子において、光導波路の折り返し部を二つ以上具備したことを特徴とする。

【0024】本発明の請求項 5 の偏波無依存光制御素子は、前記請求項 2 ないし 4 のいずれかに記載の光制御素子において、光導波路、折り返し光導波路および進行波型電極の長さを、相互作用部におけるマイクロ波と光と

の実効的な走行時間がほぼ一致する長さに、設定したことを特徴とする。

【0025】

【作用】本発明によれば、光導波路の折り返し部において、波長板により偏波方向を 90° 回転させて反射させることで TE モードと TM モードが変換されるので、入射時に TE および TM モードであった入射光が、分岐後再び合波するまでに受ける位相変化は同じになり、偏波依存性がなくなる。また、電気光学効果を有する光学基板の大きさには制限があるが、本発明のように光導波路を折り返すと相互作用長を長くすることができ、駆動電圧を非常に低減することができる。また、折り返し部で電極と光導波路の長さに差を設けることができるので、マイクロ波と光の位相速度差を補償することができ、従来より高速動作を行うことが可能となる。また、同じ駆動電圧に対して全素子長を短くすることができるため、小型化も図ることができる。

【0026】さらに、TE モードと TM モードを 2 回以上入れ変えられるので、マイクロ波の伝搬損失によって生じる各偏波モードの実効的な電圧の不均衡を解消することができ、従って、高速動作においても偏波依存性の無い特性が得られる。

【0027】これらの動作原理は、次の実施例の中で実際のデバイスに沿ってより具体的に説明する。

【0028】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0029】（実施例 1）図 1 は、本発明による偏波無依存光制御素子として、マッハツェンダ型光強度変調器の第 1 の実施例を説明するための平面図であり、図 2 は図 1 の A - A' 線に沿う拡大断面図である。

【0030】本実施例では、図 15 および 16 に示した従来例と同様に電気光学効果を有する z 板 LiNbO_3 基板 1 上に Ti 熱拡散法により光導波路 2 を形成している。この光導波路 2 には、光度変換型折り返し光導波路部 10 が形成されている。光導波路 2 上に進行波型電極 3 を配置している。光導波路 2 を伝搬する光が電極 3 による吸収損失を少なくするために、例えば SiO_2 でパッファ層 8 を基板 1 と電極 3 との間に $1\ \mu\text{m}$ 程度形成し *

$$\begin{aligned} V_p(\text{TM} + \text{TE}) &= (2 / (1/V_p(\text{TM}) + 1/V_p(\text{TE}))) \\ &= 2V_p(\text{TM})V_p(\text{TE}) / (V_p(\text{TM}) + V_p(\text{TE})) \end{aligned} \quad \dots (5)$$

で与えられる。この時、相互作用長 L と TM モード (TE モード) に対する $\Gamma(\text{TM})$ ($\Gamma(\text{TE})$) は、従来構造の値とほぼ同じとする。

【0036】一方、TM モードと TE モード光の平均的な実効屈折率を n_0 、マイクロ波の実効的な屈折率を n_m

$$n_m (L_1 + L_3') = n_0 (L_1 + L_3) \quad \dots (6)$$

の関係が成り立つように設定すると、P 点におけるマイクロ波と光の各位相面が、R 点においても一致する。つまり、相互作用部における実効的な走行時間を一致させ

* ている。進行波型電極 3 に給電線 11 からマイクロ波電圧 V が供給される。

【0031】図 3 に、第 1 の実施例の光路変換型折り返し光導波路部 10 の端部近傍の拡大一部断面視した平面図の一例を示す。研磨等で形成した光路変換型光導波路の折り返し部 10 の端部に、片側に高反射膜 5 を形成した $1/4$ 波長板 4 を、その主軸が基板面と 45° となるように傾けて接合した。ここで、波長板 4 は、 $(2n + 1) / 4$ 波長板 (n は 0 以上の整数) でもよい。また、光導波路端部と波長板 4 との屈折率不整合による不要な反射光を除去するため、光導波路端部と波長板 4 との間に反射防止膜を形成している。なお、波長板 4 の厚さは、厚い程損失が大きくなるため、薄い方が望ましい。

【0032】次に、上記構成による光強度変調器の動作について説明する。

【0033】強度が一定の入射光を光導波路 2 に入射させると、光はマッハツェンダ干渉計を構成する Y 分岐部 9a で二つの光導波路にパワーを分配する。光導波路 2 と電極 3 とが第 1 の相互作用領域 (PQ 間: 長さ L_1) 13 でその入力信号に応じて光の屈折率あるいは位相が変化する。折り返し部 10 において、光が 45° 傾いた $1/4$ 波長板 4 を往復するため、実効的に $1/2$ 波長板を通過したことに同じになり、TM モードが TE モードへ、TE モードが TM モードへ変換される。第 2 の相互作用領域 (RS 間: 長さ L_2) 14 を経て Y 分岐部 9b で光が合波する。ここで、 L_1 と L_2 が等しい場合 ($L = L_1 = L_2$)、分岐してから合波するまでの間に、異なる入射光モードが受ける位相変化が等しくなり、各モードとも二つの光導波路間の屈折率変化を同じように受ける。従って、各入射モードとも同じ電圧において合波部 (Y 分岐部 9b) で干渉し合い出射光 7 の強度が変化する。

【0034】ここで、図 15、図 16 で示した従来構造における TM モード (TE モード) における駆動電圧を $V_p(\text{TM})$ ($V_p(\text{TE})$) とすると、駆動電圧 $V_p(\text{TM} + \text{TE})$ は、

【0035】

【数 5】

、QR 間に実効的な光導波路の長さを L_3 、QR 間の実効的な電極の長さを L_3' とした時に、

【0037】

【数 6】

ることができる。従って、上限周波数は前記 (3) 式の L を L_1 とした値となる。図 15、図 16 の光制御素子の相互作用長 L と図 1 の光制御素子の相互作用長 L_1 を

等しくすると、周波数帯域は同じとなり、かつ上記で示したように入射光の偏波モードに依存せずに駆動電圧を低減することができる。

【0038】なお、上記(6)式から僅かにずれた場合でも、低電圧化、高速動作化等に大きな影響は与えない。

【0039】図4は、全相互作用長を40mmとして、波長1.3μmの光を用いたときの印加電圧に対する光出力特性である。ここで、横軸は電極に印加した電圧を縦軸に出射光強度を示す。駆動電圧は3.8Vであり、入射光の偏波によらず同じ特性を示すことがわかる。図15、図16で示した従来例における $V_p(TM) = 5V$ 、 $V_p(TE) = 15V$ の値から、上記(5)式を用いて駆動電圧 $V_p(TM + TE)$ を推定した値と良く一致していることがわかる。よって、本発明による構成によって偏波無依存光強度変調器は、従来の構成によるものと比較して1/4程度の駆動電圧ですむことになる。また、周波数帯域は図15、図16の従来例と同程度であった。さらに、入射光の偏波に対してON/OFF電圧が一致しているため、消光比劣化はほとんどない。

【0040】このように、本発明の光強度変調器は、偏波依存性を無くし、かつその駆動電圧を従来より大幅に低減することができ、またマイクロ波と光の位相速度差を補償することができるため高速動作を実現することができる。

【0041】(実施例2)図5は、2×2光スイッチとした本発明の第2の実施例である。図1と同一構成要素には同一符号を付して説明を簡略化した。図1の第1の実施例のY分岐部9a、9bを2×2カプラ部15に置き換えた2×2光スイッチの構成となっている。2×2カプラは部15、方向性結合器やX分岐等で構成し、各偏波に対してそれぞれ3dBとなるように設定してある。

【0042】以上の実施例では、マイクロ波と光の速度不整合による帯域制限が主要因で、マイクロ波の伝搬に伴う損失が無視できるような場合を示した。

【0043】一方、マイクロ波と光の速度不整合により、マイクロ波の伝搬に伴う損失が帯域制限の主要因となる場合は、TMモードとTEモードの全相互作用領域で受ける実効的な電圧の総和が異なり、偏波依存性が生じてしまう問題がある。

【0044】(実施例3)図6は、マイクロ波の伝搬損失が無視できない場合の本発明の第3の実施例である。図中、図1および図5と同一構成要素には同一符号を付して説明を簡略化した。第1のマイクロ波給電線16と第2のマイクロ波給電線17からの入力、P点におけるマイクロ波と光の各位相面が、R点においても一致するように、P点からR点までの光の到達時間Δtだけ遅延時間を有する。図7は、マイクロ波と光速度が一致した場合におけるマイクロ波の伝搬距離に対する実効的な

電圧(パワー)を示している。電圧は伝搬距離に対して指数関数的に減衰する。特に周波数が高い場合、図1に示す第1の実施例では、図8で示すように光が受ける実効的な電圧の総和が入射偏波モードによって異なってくる。図9は、図6において、第1、第2のマイクロ波のパワーを同じ値に設定した場合の光が受ける実効的な電圧の距離依存性を示している。これにより、マイクロ波の伝搬損失による高周波領域におけるPQ間の実効的な電圧とRS間の実効的な電圧を一致させることができるため、DCあるいは低周波動作だけでなく高周波動作においても偏波依存性をなくすることができる。

【0045】(実施例4)図10は、マイクロ波の伝搬損失が無視できない場合の光路変換型折り返し光導波路部10を2ヶ所用いて相互作用部を2回折り返しとした本発明の第4の実施例を示す図である。本実施例では第1の相互作用領域(PQ間)13+第3の相互作用領域(TU間)18の長さで第2の相互作用領域(RS間)14の長さを等しくしている。図11は、入射偏波モード光が受ける実効的な電圧の距離依存性を示している。PQ間およびTU間の電圧の総和とRS間の電圧の総和を等しくするように各領域の長さを設定すれば、入射の各モード光が受ける実効的な電圧をほぼ等しくすることができるため、DCあるいは低周波領域だけでなく、高周波領域においても偏波依存性をなくすることができる。なお、繰返し回数を3回以上行ってもよい。また、速度不整合が問題とならない場合には、上記相互作用領域の長さは限定されない。

【0046】(変形例)図12、図13、図14は、前記第1、第2、第3および第4の実施例における光路変換型折り返し光導波路部の端部近傍の他の構成を示す図である。図12、図13は角度θの光導波路402と光導波路端部403で構成され、光導波路端部に取り付けられた波長板4の周囲にはこの波長板4を取り付けるための溝19が形成されている。また図14は光導波路2が端部近傍で3dBカプラを形成し、カプラ部20を光が波長板4を通して往復することにより光路が変換される構造である。

【0047】これら実施例では、Ti熱拡散法による光導波路について説明したが、例えばイオン交換法等により形成してもよい。また、リッジ型光導波路としてもよい。さらに、光導波路として直線導波路を用いることによって位相変調器を構成することができる。また、バッファ層材料についてもSiO₂の場合について説明したが、アルミナやテフロン等の誘電体や半絶縁体を用いてもよい。進行波型電極としてCPW電極について説明したが、ACPS電極等の電極構造を用いてもよい。

【0048】以上では、z板LiNbO₃基板中の電気光学効果を用いた光制御素子について実施例を示してきたが、個の他にx板やy板のLiNbO₃基板や、他の強誘電体をはじめ、半導体や有機物などの異方性を有す

る基板の電気光学効果を用いた光制御素子にも本発明の構成は非常に有効であることは言うまでもない。

【0049】

【発明の効果】以上説明したように、電気光学効果を有する光学基板と、該光学基板の表面付近に形成された光導波路と、かつ該光導波路が形成された前記光学基板上に配置された進行波型電極とを備え、前記電極にマイクロ波を印加して誘起される電圧により前記光導波路と前記電極との相互作用領域が形成される偏波無依存光制御素子であって、波長板および反射層を有するとともに光偏波面を実質的に90°前後回転して折り返す折り返し部を前記光導波路の少なくとも一ヶ所に具備し、また相互作用部におけるマイクロ波と光との実効的な走行時間あるいは電圧がほぼ一致するように、該光導波路や該折り返し光導波路の長さや繰返し数、および前記進行波型電極の長さや分割数を設定することにより、入力光の偏波状態によらず、相互作用長を長くすることができるため、駆動電圧を非常に低減することができる。また、マイクロ波と光の位相速度差を補償することができ、従来より高速動作を行うことが可能となる。また、同じ駆動電圧に対して全素子長を短くすることができるため、小型化も図ることができる。また、マイクロ波の伝搬損失によって生じる各偏波モードの実効的な電圧の不均衡を解消することができるため、高速動作においても偏波依存性の無い特性が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光制御素子としてマッハツェンダ強度光変調器とした本発明の第1の実施例の平面図である。

【図2】図1のA-A'線に沿う断面図である。

【図3】第1の実施例における折り返し光導波路端部近傍の平面図である。

【図4】図1に示すマッハツェンダ強度光変調器の電極に電圧を印加した場合の光出力特性図である。

【図5】2×2光スイッチとした本発明の第2の実施例の平面図である。

【図6】マイクロ波の伝搬損失が無視できない場合の本発明の第3の実施例の平面図である。

【図7】マイクロ波の伝搬損失がある場合のマイクロ波電圧（パワー）の伝搬距離依存性を示す図である。

【図8】図1に示す第1の実施例における入射偏波モード光が*

* 受ける実効的な電圧の距離依存性を示す図である。

【図10】マイクロ波の伝搬損失が無視できない場合の光路変換型折り返し光導波路を2回用いた本発明の第4の実施例の平面図である。

【図11】入射偏波モード光が受ける実効的な電圧の距離依存性を示す図である。

【図12】第1, 第2, 第3および第4の実施例における折り返し光導波路端部近傍の変形例を示す平面図である。

10 【図13】図12のA-A'線に沿う断面図である。

【図14】第1, 第2, 第3および第4の実施例における折り返し光導波路端部近傍の他の変形例を示す平面図である。

【図15】従来のマッハツェンダ型強度光変調器の一例を示す平面図である。

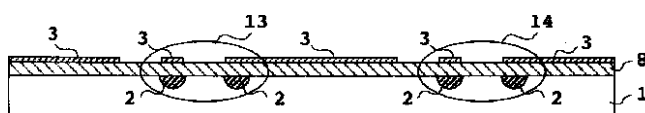
【図16】図15のA-A'線に沿う断面図である。

【図17】図15に示す従来のマッハツェンダ強度光変調器の電極に電圧を印加した場合の光出力特性図である。

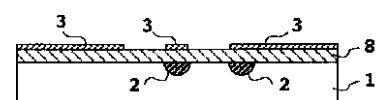
20 【符号の説明】

- 1 LiNbO₃ 基板
- 2 光導波路
- 3 進行波型電極
- 4 薄膜型1/4波長板
- 5 高反射膜
- 6 入射光
- 7 出射光
- 8 SiO₂ バッファ層
- 9 a、9 b マッハツェンダ干渉計を構成する光導波路のY分岐部
- 10 折り返し型光導波路部
- 11 マイクロ波給電線
- 12 終端抵抗
- 13 第1の相互作用領域
- 14 第2の相互作用領域
- 15 2×2カブラ部
- 16 マイクロ波給電線
- 17 マイクロ波給電線
- 18 第3の相互作用領域
- 19 溝
- 20 3dBカブラ部
- 402 光導波路
- 403 光導波路端部

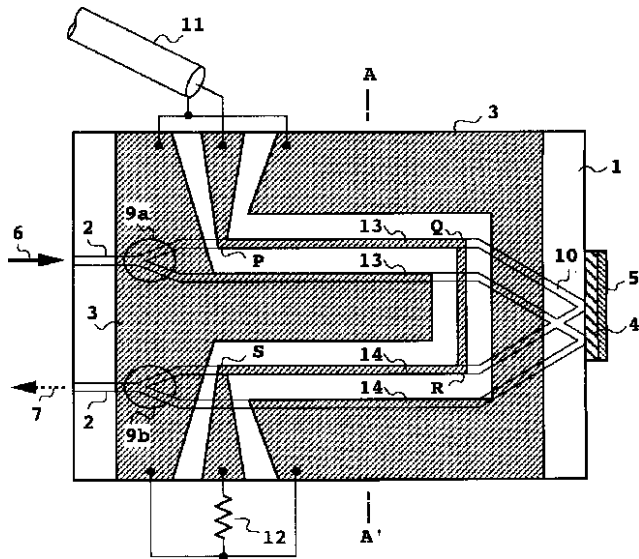
【図2】



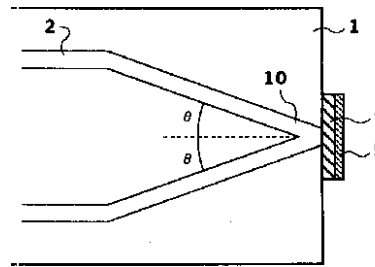
【図16】



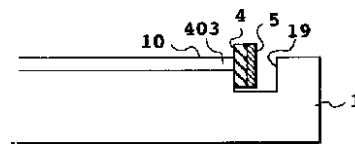
【図1】



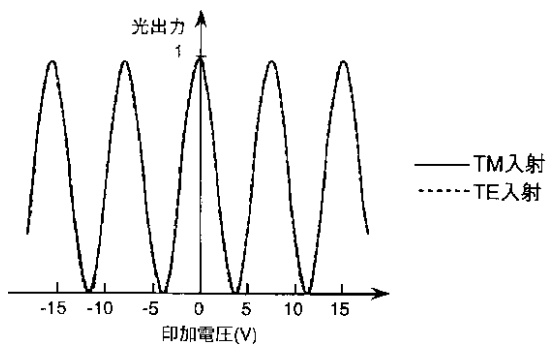
【図3】



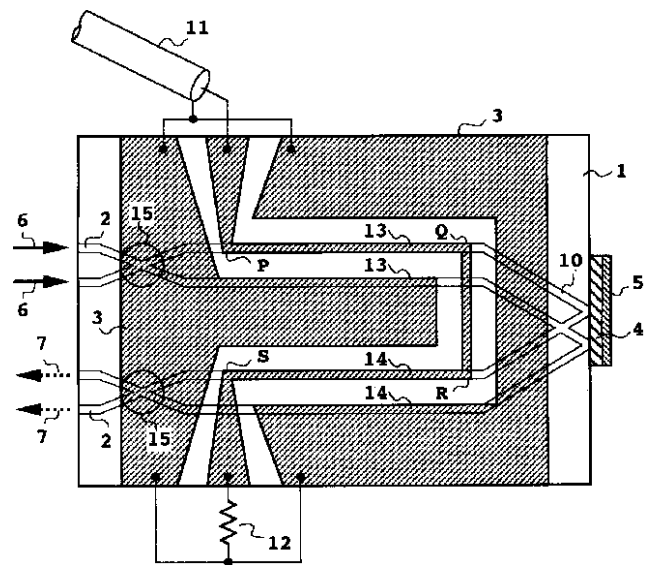
【図13】



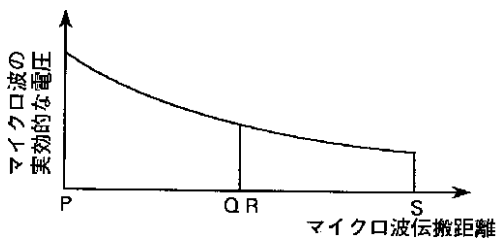
【図4】



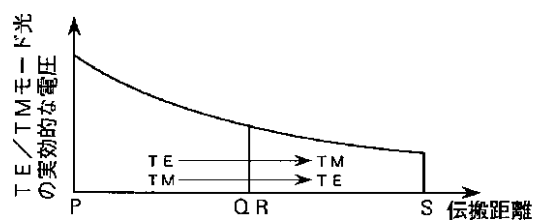
【図5】



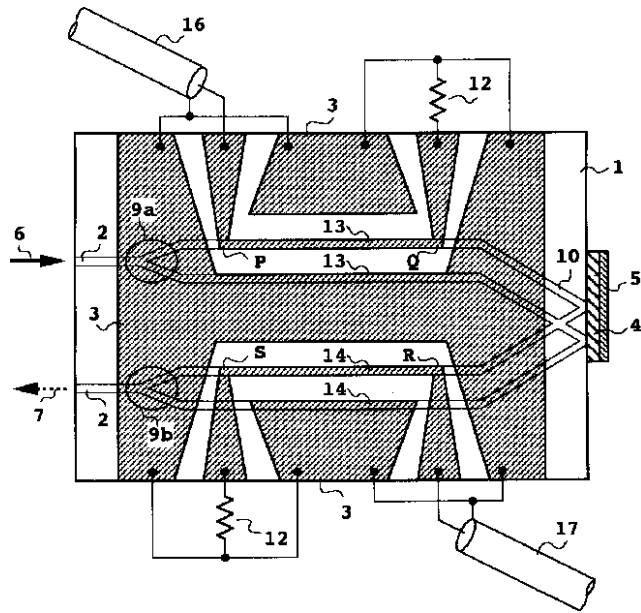
【図7】



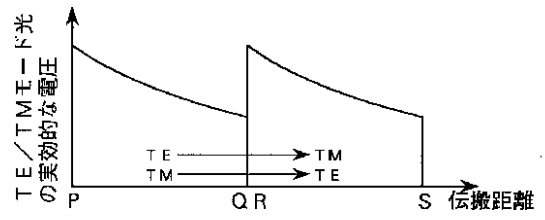
【図8】



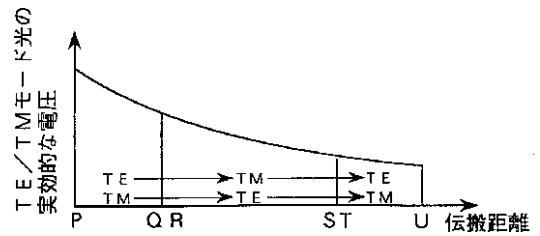
【図6】



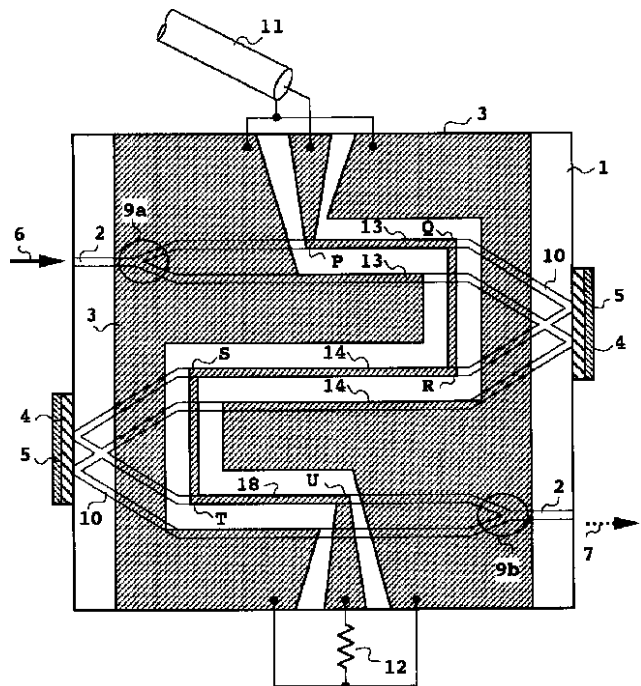
【図9】



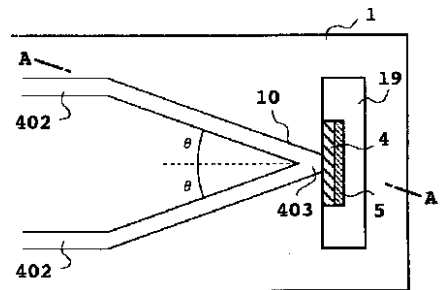
【図11】



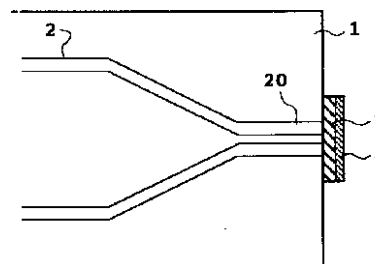
【図10】



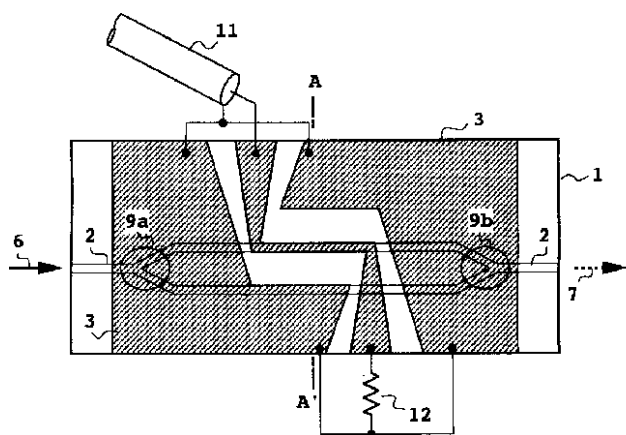
【図12】



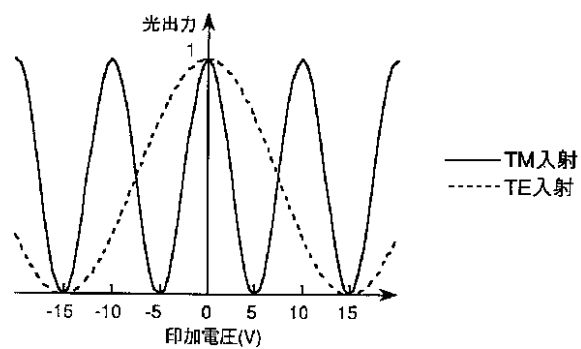
【図14】



【図 15】



【図 17】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 靖之
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 安藤 慎治
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日
本電信電話株式会社内