

(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7-56199

(43)公開日 平成7年(1995)3月3日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/313
1/00

識別記号

片内整理番号
7625-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-202177

(22)出願日 平成5年(1993)8月16日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 井上 靖之

東京都千代田区内幸町一丁目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一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 澤田 孝

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外1名)

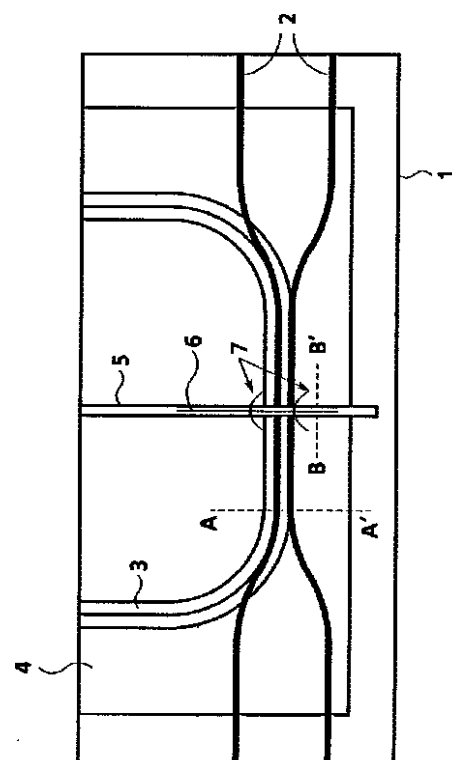
[最終頁に続く](#)

(54) 【発明の名称】 偏波無依存導波路型光スイッチ

(57) 【要約】

【目的】 電気光学効果を利用する導波路型光スイッチ
の中で入力光の偏波状態に依存しない偏波無依存導波路
型光スイッチを提供する。

【構成】 LiNbO₃基板1と、前記LiNbO₃基板内に作製された光導波路2と、前記LiNbO₃基板1上に形成された電極3、4とから構成される電気光学効果を用いた偏波無依存導波路型光スイッチにおいて、前記光導波路の少なくとも一箇所に薄膜型の1/2波長板6が挿入されている。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 LiNbO_3 基板と、前記 LiNbO_3 基板内に作製された光導波路と、前記 LiNbO_3 基板上に形成された電極とから構成される電気光学効果を用いた偏波無依存導波路型光スイッチにおいて、前記光導波路の少なくとも一箇所に薄膜型波長板が挿入されていることを特徴とする偏波無依存導波路型光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は光通信および光情報処理用の光スイッチに関し、更に詳しくは、電気光学効果を利用する導波路型光スイッチの中で入力光の偏波状態に依存しない偏波無依存導波路型光スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】光スイッチは光通信または情報処理用として非常に重要な光部品であり盛んに研究開発が行われている。その種類としては、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スイッチや、石英系ガラス導波路等で用いられる熱光学効果を用いたスイッチ、 Ti 拡散 LiNbO_3 導波路などの電気光学効果を有する導波路で用いられる電気光学スイッチなどがある。この内のメカニカルスイッチや熱光学スイッチは偏波依存性はないが、その応答速度が 1ms 程度以上と遅いという問題がある。

【0003】これに対して電気光学効果を用いたスイッチは応答速度が極めて速いという特性を持っている。しかしながら電気光学効果はその屈折率変化が光の偏波方向によって異なるため、マッハツェンダ干渉計型のスイッチで電極をそのアームに設けた場合、その動作が入力光の偏波状態に依存したものになってしまうという問題点があった。

【0004】電気光学効果を用いた導波路型スイッチにおいて偏波依存性は最大の課題として多くの研究者がその改善につとめてきた。その結果現在では、方向性結合器に電極を装荷した形式のスイッチによって偏波依存性の無いスイッチが実現されている (R.C.Alferness "Polarization-independent optical directional coupler switch using weighted coupling" Appl.Phys.Lett.35 (10),15,1979 または M.Kondo et al. "LOW-DRIVE-VOLTAGE AND LOW-LOSS POLARIZATION-INDEPENDENT LiNbO_3 OPTICAL WAVEGUIDE SWITCHES" Electron.Lett.Vol.23,No.21,1987参照)。

【0005】ここで、後者の文献に掲載されているスイッチの構成を図 13 に示す。図 13 中、符号 1 は LiNbO_3 板、2 は Ti 拡散 LiNbO_3 光導波路、3 はスイッチ用正極側電極、4 はスイッチ用負極側電極を各々図示する。ここで、図 13 に示すスイッチは、電極長 19mm のとき波長 $1.3\mu\text{m}$ の光をスイッチするために、

2

8V の電圧を必要とする。しかしながらこのスイッチ電圧は、高速で回線の切り替えをするには駆動電源に大きな負担となるものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】前述の通り図 13 に示す従来技術に係るスイッチでは、偏波無依存の電気光学スイッチを実現するためには 18V もの高いスイッチ電圧が必要であった。このスイッチ電圧は高速で切り替えを行うときに駆動電源にとって大きな負担となるものであった。本発明は、上記問題に鑑み、電気光学効果を用いた低電圧で駆動可能な偏波無依存導波路型光スイッチを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明に係る偏波無依存導波路型光スイッチの構成は、 LiNbO_3 基板と、前記 LiNbO_3 基板内に作製された光導波路と、前記 LiNbO_3 基板上に形成された電極とから構成される電気光学効果を用いた偏波無依存導波路型光スイッチにおいて、前記光導波路の少なくとも一箇所に薄膜型波長板が挿入されていることを特徴とする。

【0008】

【作用】本発明の構成によれば、途中に偏光フィルタを介装したことで、偏波を補正しスイッチ電圧が、従来の構成に比較して半分程度となる。それは以下のような理由からである。 Z カット LiNbO_3 結晶中の電気光学効果は TM mode の方が TE mode に比較して 3 倍程度の大きな効率を持つ。このため図 5 に示すように TM mode のみを考えるとそのスイッチ電圧は約 6V である。しかしながら TE mode はスイッチに要する電圧が高く 18V も必要である。このため両偏波がスイッチするために必要な電圧が 18V となっているのである。これに対して電極の中央に偏光フィルタとして $1/2$ 波長板を挿入して前半は TM (TE) として伝搬させ、波長板でモード変換した後は TE (TM) で伝搬させたときスイッチに必要な電圧 $V_{\text{TE}} + V_{\text{TM}}$ は以下「数 1」に示す式で与えられる。

【0009】

【数 1】変調効率 $\eta_{\text{TM}} = \pi / (L \cdot V_{\text{TM}})$

変調効率 $\eta_{\text{TE}} = \pi / (L \cdot V_{\text{TE}})$

$V_{\text{TE}} + V_{\text{TM}} = 2 \cdot \pi / (L \cdot (\eta_{\text{TE}} + \eta_{\text{TM}})) = 2 / (1/V_{\text{TE}} + 1/V_{\text{TM}})$

ただし L : 電極長

η_{TM} , η_{TE} : TM 光および TE 光の変調効率

V_{TM} , V_{TE} : 従来技術の構成で TM 光および TE 光をスイッチさせるのに必要な電圧

$V_{\text{TM}} + V_{\text{TM}}$: 本発明の構成で必要なスイッチ電圧

【0010】上記式で $V_{\text{TM}} = 6\text{V}$ 、 $V_{\text{TE}} = 18\text{V}$ を挿入すると、 $V_{\text{TM}} + V_{\text{TM}} = 9\text{V}$ となる。この値は実験結果と一致している。よって本発明による構成によって導波路型偏波無依存スイッチは従来の構成によるものに比較して

半分程度のスイッチ電圧で済むこととなる。

【0011】このように、本発明の導波路型偏波無依存光スイッチは、そのスイッチ電圧が従来の約半分で済み、その結果、スイッチの駆動電源の負担を低減することができ、さらにはより高速なスイッチを実現することができる。

【0012】

【実施例】以下、本発明に係る偏波無依存導波路型光スイッチの好適な実施例を説明する。

【0013】（実施例1）図1に本発明の第1の実施例である電気光学効果を用いた導波路型偏波無依存光スイッチを示す。図2に図1におけるAA'線の拡大断面図を図3に波長板を挿入した図1におけるBB'線の拡大断面図を示す。ここで、図1～図3中、符号1はLiNbO₃基板、符号2はTi拡散LiNbO₃光導波路、符号3はスイッチ用正極側電極、符号4はスイッチ用負極側電極、符号5は薄膜波長板挿入溝、符号6は薄膜1/2波長板、符号7は電極接続用ワイヤーボンディングを各々図示する。

【0014】以下にスイッチの作製法について簡単に説明する。光学研磨したLiNbO₃基板1上にリフトオフ法と電子ビーム蒸着法でTi膜を1000Å形成した。これを加湿酸素雰囲気中で1000℃で7時間拡散させることにより、Ti拡散LiNbO₃光導波路2を作製した。この上にバッファ層としてSiO₂をCVD法で1μm堆積し、その上に金電極（スイッチ用正極側電極3、負極側電極4）を形成した。電極長は20mm、電極間隔を10μmとした。その後ダイシングソーにより波長板を挿入するための薄膜波長板挿入溝5を電極4の中央に導波路と直行するよう加工して、最終的に高分子膜を延伸することによって作製した薄膜1/2波長板6を、その光学軸が基板面と45°となるように前記溝5に挿入した。1/2波長板6は挿入した後、紫外線硬化樹脂で固定した。また前記溝は反射戻り光を抑えるために基板に対して垂直から5°程度傾けて作製した。また、1/2波長板6を固定した後は電極接続用ワイヤーボンディング7により切断した電極を接続した。

【0015】ここで、1.3μmの光を用いたときのスイッチ特性を図4に示す。ここで横軸は電極に印加した電圧を、縦軸にクロスポート光出力を示す。TEとTMの2つの偏波でそのスイッチ特性が完全に一致していることがわかる。この時のスイッチ電圧は約9Vであった。

【0016】比較のために波長板を取り除いたときのスイッチ特性を図5に示す。同図に示すように、波長板を取り除いた構成は、従来技術に示すのと同じものであり、TM及びTEの2つの偏波でスイッチが共にバー状態（クロスポート光出力が無くなる状態）になるのは、電極に印加する電圧が18Vの時であった。この結果から波長板を電極の真ん中に挿入することによって、スイッチ電圧が約半分になっていることがわかる。

【0017】（実施例2）図6に本発明第2の実施例である導波路型偏波無依存スイッチを示す。実施例1で示したスイッチが方向性結合器型のものであったものに対して、本実施例のスイッチは、3dB方向性結合器を2つ用いたマッハツェンダ干渉計型のものである。スイッチ電圧が小さいことの基本的な原理は実施例1と同じである。

【0018】図7にそのスイッチ特性を、比較のために波長板を除いたときのスイッチ特性を図8に示す。図7と図8とを比較してみると、図7は11Vで動作しているのに対して、図8では22Vとスイッチ電圧が高く偏波状態に依存しないスイッチ動作を行うとき波長板を挿入した場合は波長板が無い場合に比べてそのスイッチ電圧が約半分で済むことが分かる。このマッハツェンダ干渉計を用いた構成は電極長と方向性結合器とを別々に設計できるため、電極を長くしてスイッチ電圧をより小さくすることが可能である。

【0019】（実施例3）図9に本発明の第3の実施例である導波路型偏波無依存スイッチを示す。これは進行波型電極を用いて高速スイッチを行う場合に、マイクロ波の減衰が問題になる高周波領域でそのスイッチ特性に偏波依存性が生じるのを防ぐための構成である。すなわちモード変換器としての波長板を電極の中央にのみ挿入する方法では、マイクロ波の強い前半にTMモードであった光は比較的高周波までスイッチ特性が良いのに対して、マイクロ波の電圧がかなり減衰した後半で変調効率の良いTMモードとなる光（スイッチに入射する段階ではTEモードであった光）はマイクロ波の減衰が直接そのスイッチ特性の劣化をもたらす。すなわちマイクロ波の減衰が問題となる高周波領域でスイッチ特性に偏波依存性が生じてしまう。

【0020】本実施例においては、これを解消するためにモード変換器としての1/2波長板6を2ヶ所挿入する。この時分離される3つの各電極の長さをL₁、L₂、L₃とする。それぞれの電極はワイヤーボンディング7により接続する。スイッチ速度が低速の時、偏波無依存のスイッチ動作をさせるためL₁+L₃=L₂とする。スイッチ駆動用マイクロ波の減衰が問題となるのは5GHz程度からである。このように高い周波数でスイッチングを行うとすると、電極中でのマイクロ波の減衰も考慮する必要が生じる。

【0021】5GHzのマイクロ波を進行波電極に入射したときの電極間電圧を電極の長手方向に示したものを図10に示す。ここで斜線で示したL₁とL₃の部分の面積の和がL₂の部分の面積に等しくなるようL₁、L₂、L₃を設定した。このときのTMモードを入射したときのスイッチ周波数特性およびTEモードを入射したときのスイッチ周波数特性を図11に示す。比較のために図1に示す構成でのスイッチ周波数特性を図12に示す。

【0022】図11と図12との比較から、偏波モード

変換器としての波長板を 2 枚用いたことによって、スイッチを高速で駆動したときの偏波による消光比の差が抑圧されていることが分かる。更に高周波領域でスイッチ特性の偏波による違いを小さくするためには 2 枚以上の波長板を電極の間に挿入すれば良い。しかし波長板の挿入によって電極接続部におけるマイクロ波の損失、光挿入損失も増加することも考慮する必要がある。

【0023】以上 LiNbO_3 中の電気光学効果を用いた導波路型光スイッチについて実施例を示してきたが、この他に有機物を用いた電気光学スイッチや、音響光学効果を用いたスイッチ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。

【0024】更に熱光学効果を用いた導波路型光スイッチにおいても、局所的な熱による応力で僅かな偏波依存性が生じることが指摘されている。この偏波依存性を解消する方法としても本発明の構成は有効である。

【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば途中に偏光フィルタを設けて偏波を補正することができ、従来に比較して低電圧でスイッチできる導波路型偏波無依存スイッチを実現することが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例 1 の導波路型偏波無依存光スイッチの概略図である。

【図 2】図 1 の AA' 線における拡大断面図である。

【図 3】図 1 の BB' 線における拡大断面図である。

【図 4】図 1 に示す導波路型偏波無依存スイッチの電極に電圧を印加した場合のクロスポート光出力特性を表す図であり、図中、波線と実線はそれぞれ TE モードおよび TM モードを入射したときの特性を示す。

【図 5】図 1 のスイッチにおいて薄膜波長板を取り除いて電極に電圧を印加した場合のクロスポート光出力特性 *

* を表す図であり、図中、波線と実線はそれぞれ TE モードおよび TM モードを入射したときの特性を示す。

【図 6】本発明の実施例 2 の導波路型偏波無依存光スイッチの概略図である。

【図 7】図 6 に示す導波路型偏波無依存スイッチの電極に電圧を印加した場合のクロスポート光出力特性を表す図であり、図中、波線と実線はそれぞれ TE モードおよび TM モードを入射したときの特性を示す。

【図 8】図 6 のスイッチにおいて薄膜波長板を取り除いて電極に電圧を印加した場合のクロスポート光出力特性を表す図であり、図中、波線と実線はそれぞれ TE モードおよび TM モードを入射したときの特性を示す。

【図 9】本発明の実施例 3 の高速なスイッチングが可能な導波路型偏波無依存光スイッチの概略図である。

【図 10】5 GHz のスイッチ駆動用マイクロ波を電極に入射したときにその電圧が電極内部を伝搬するにつれて減衰する様子を示した図である。

【図 11】図 9 に示すスイッチで高速のスイッチングを行った場合のスイッチ消光比の劣化を示す図である。

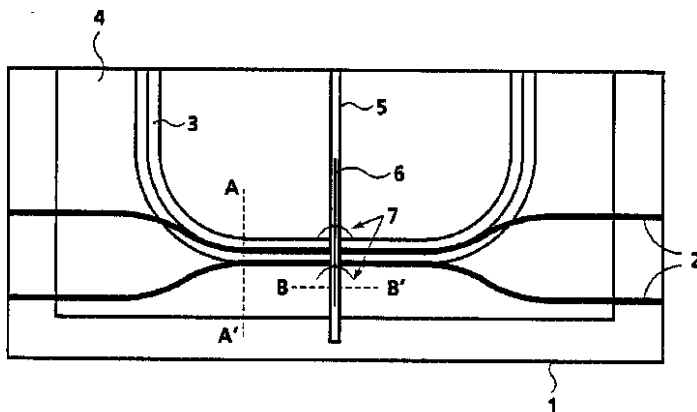
【図 12】図 1 に示すスイッチで高速のスイッチングを行った場合のスイッチ消光比の劣化を示す図である。

【図 13】従来技術の導波路型偏波無依存光スイッチの概略図である。

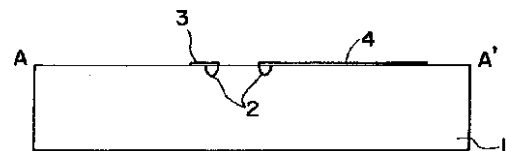
【符号の説明】

- 1 LiNbO_3 基板
- 2 Ti 拡散 LiNbO_3 光導波路
- 3 スイッチ用正極側電極
- 4 スイッチ用負極側電極
- 5 薄膜波長板挿入溝
- 6 薄膜 1/2 波長板
- 7 電極接続用ワイヤーボンディング

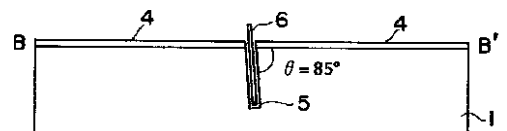
【図 1】



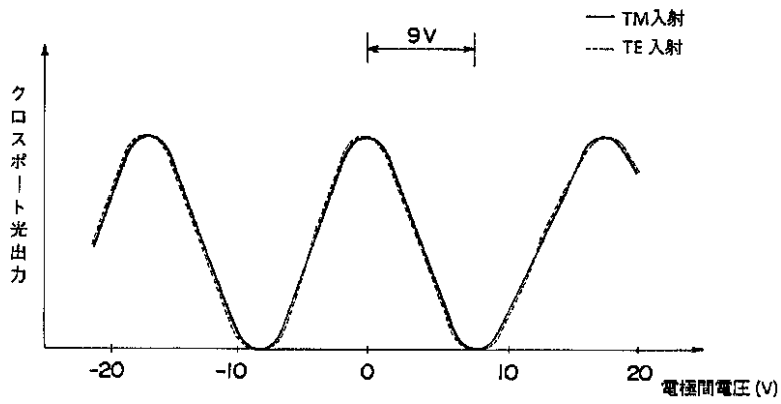
【図 2】



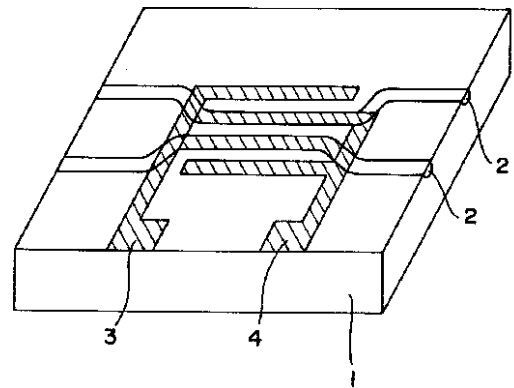
【図 3】



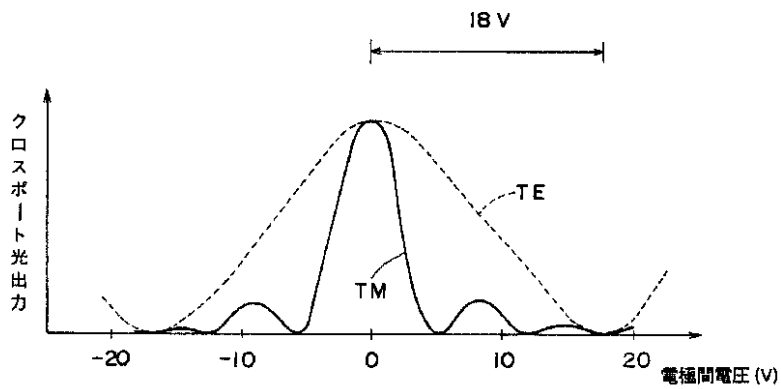
【図 4】



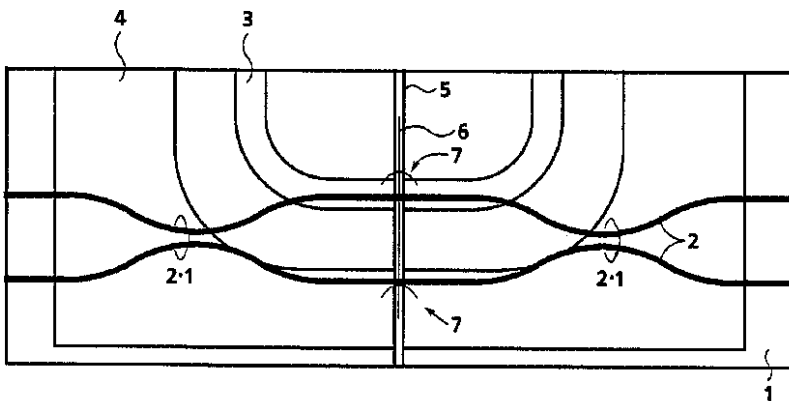
【図 13】



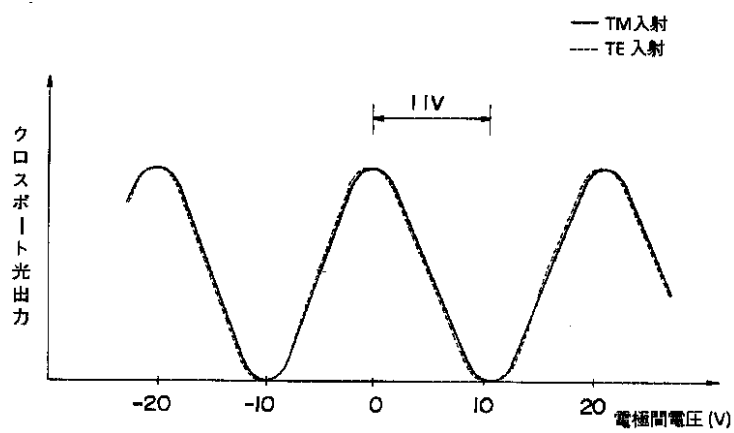
【図 5】



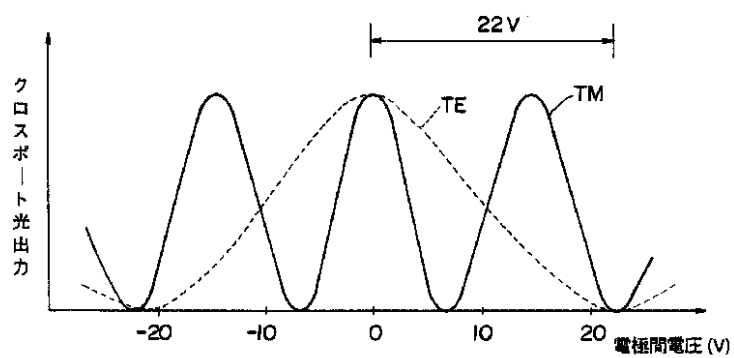
【図 6】



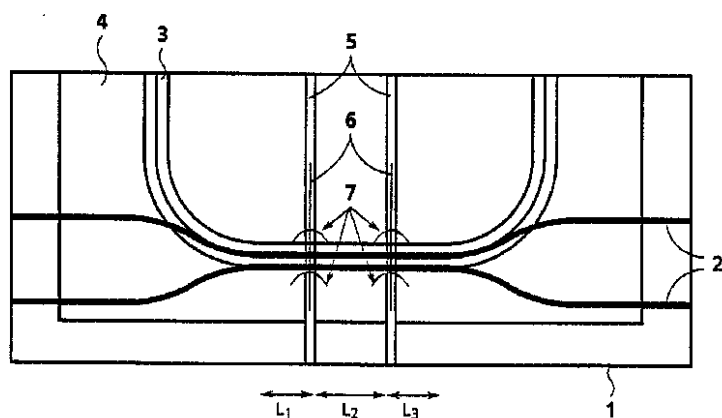
【図 7】



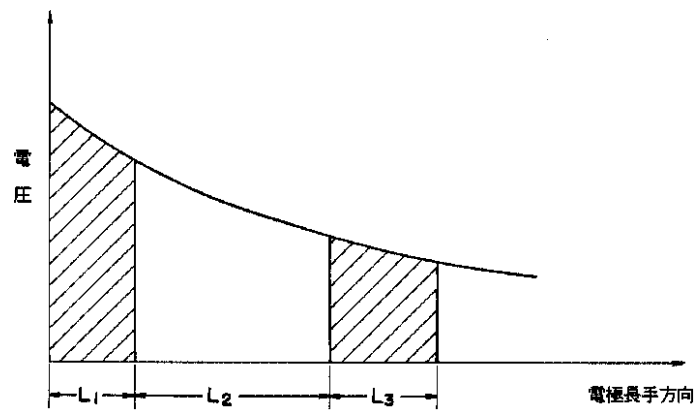
【図 8】



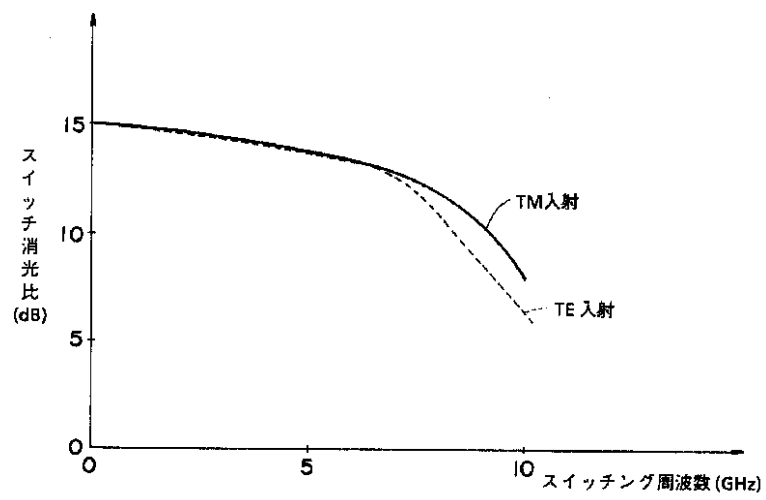
【図 9】



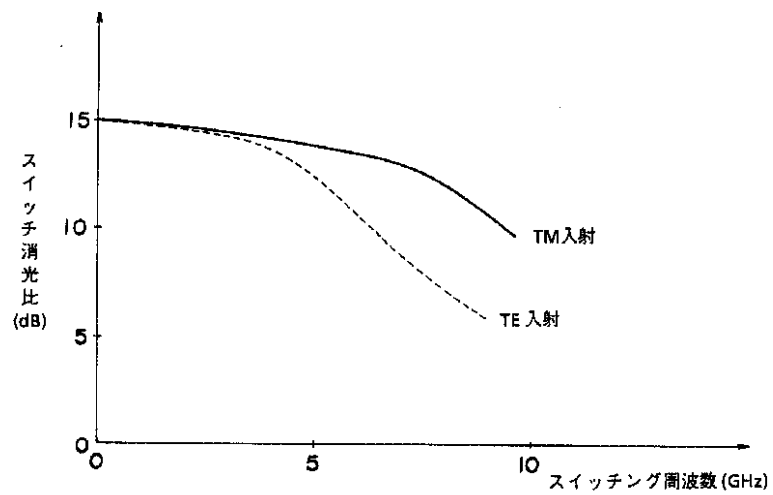
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 浩
東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日
本電信電話株式会社内