

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 12 月 29 日 (29.12.2005)

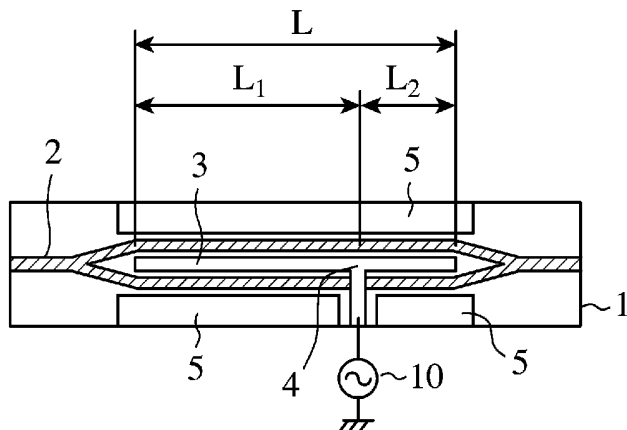
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/124437 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/035 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008614
- (22) 国際出願日: 2004 年 6 月 18 日 (18.06.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 永塚 勉 (NAGATSUKA, Tsutomu) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野 嘉仁 (HIRANO, Yoshihito) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (74) 代理人: 田澤 博昭, 外 (TAZAWA, Hiroaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目 7 番 1 号 大東ビル 7 階 Tokyo (JP).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: RESONANCE TYPE OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 共振型光変調器



(57) Abstract: The length of an electrode (3) and the position of a feed point (4) are determined so that an impedance when the electrode (3) is viewed from the feed point (4) almost agrees with the impedance of a feed circuit (10). Accordingly, impedance matching with an external circuit is permitted without providing a matching circuit near the feed point (4). Therefore, the resonance of an electric signal can be efficiently produced at the electrode (3), and a resonance type optical modulator with a small half-wavelength voltage $V\pi$ can be provided.

(57) 要約: 給電点 4 から電極 3 を見たときのインピーダンスが給電回路 10 のインピーダンスと略一致するように、電極 3 の長さ L と給電点 4 の位置を決定する。これにより、給電点 4 の付近に整合回路を設けることなく、外部回路とのインピーダンス整合をとることができる。したがって、電極 3 に電気信号の共振を効率良く生じさせることができるとともに、半波長電圧 $V\pi$ の小さい共振型光変調器を得ることができる。

共振を効率良く生じさせることができるとともに、半波長電圧 $V\pi$ の小さい共振型光変調器を得ることができる。

明 細 書

共振型光変調器

技術分野

- [0001] この発明は、電気光学効果により光導波路の屈折率を変化させて、その光導波路を伝搬する光の強度や位相を変調する共振型光変調器に関するものである。

背景技術

- [0002] 従来の共振型光変調器は、例えば、光通信システムの送信装置などに用いられ、その基板がニオブ酸リチウムなどの電気光学効果を有する材料で作られている。

その基板上に形成される電極の両端は、電氣的に開放されており、給電点から特定の周波数の電気信号を入力すると、その電極に電気信号の定在波が生じる。

この電気信号の電圧により、電極とグラウンドの間に電界が生じ、この電界が基板の電気光学効果によって基板の屈折率を変化させるため、光導波路を伝搬する光の伝搬速度がわずかに変化する。

- [0003] したがって、光導波路を伝搬した後の光の位相が、給電点から入力された電気信号に応じて変化するため、光の位相変調器として動作する。

また、光導波路の一部を2つの経路に分岐させて、2つの分岐光を干渉させれば、光の強度変調器として動作する。

このように、共振型光変調器は、電気信号の共振を利用しているので、特定の周波数を入力したときに、特に効率良く動作する。

- [0004] ところで、このような共振型光変調器では、電気信号の共振が生じるように電極の設計が行われるが、必ずしも電極単体のインピーダンスの値については考慮されていない。

このため、従来の共振型光変調器では、給電点の近傍に整合回路であるスタブを設置して、外部回路とのインピーダンス整合をとる必要がある。

- [0005] しかし、スタブを設けることにより、共振型変調回路の大きさが大きくなる。また、本来的には、グラウンドとして繋がるべきパターンがスタブによって分離されるため、電位の変化によって高周波における特性が劣化してしまうことがある（例えば、非特許文

献1を参照)。

[0006] なお、スタブ以外のキャパシタやインダクタを設けて整合をとることも可能であるが、共振型変調回路の大きさが大きくなるとともに、製作が煩雑になる。また、整合回路を用いない構成の共振型光変調器もあるが、電氣的な整合についての設計が十分なされていないため、最適な効率が得られないことがある。

[0007] 非特許文献1:2000年 電子情報通信学会総合大会予稿集、C-3-25

[0008] 従来の共振型変調回路は以上のように構成されているので、整合回路であるスタブを設けて、外部回路とのインピーダンス整合をとる必要がある。そのため、回路規模が大きくなるとともに、電位の変化に伴う高周波特性が劣化することがある課題があった。

[0009] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、整合回路を設けることなく、外部回路とのインピーダンス整合をとることができる共振型変調回路を得ることを目的とする。

発明の開示

[0010] この発明に係る共振型光変調器は、給電点から電極を見たときのインピーダンスが給電回路のインピーダンスと略一致するように、電極の長さ L_1 と給電点の位置を決定しているものである。

[0011] このことによって、整合回路を設けることなく、外部回路とのインピーダンス整合をとることができる効果がある。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]この発明の実施の形態1による共振型光変調器を示す構成図である。

[図2]アドミタンス整合が完全にとれるときの長さ L_1 、 L_2 の組の値を示す説明図である。

[図3]アドミタンス整合が完全にとれるときの長さ L_1 、 L_2 の組の値を示す説明図である。

[図4]アドミタンス整合が完全にとれるときの長さ L_1 、 L_2 の組の値を示す説明図である。

[図5]この発明の実施の形態1による共振型光変調器を示す構成図である。

[図6]この発明の実施の形態2による共振型光変調器を示す構成図である。

[図7]アドミタンス整合が完全にとれるときの長さ L_1 , L_2 の組の値を示す説明図である。

。

[図8]この発明の実施の形態3による共振型光変調器を示す構成図である。

[図9]アドミタンス整合が完全にとれるときの長さ L_1 , L_2 の組の値を示す説明図である。

。

[図10]この発明の実施の形態4による共振型光変調器を示す構成図である。

発明を実施するための最良の形態

[0013] 以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための最良の形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1による共振型光変調器を示す構成図である。図において、基板1は電気光学効果を有するニオブ酸リチウム(LN)を用いて構成されている。

光導波路2はチタン拡散法によって基板1上に形成され、光導波路2の一部が2つの経路に分岐している。

[0014] 電極3は光導波路2に沿うように基板1上に形成され、その両端が電氣的に開放されている。電極3の長さLは電気信号の約1波長の長さに設計されている。

給電点4は電極3上の1点に形成され、給電回路10から電気信号を入力して電極3に供給する。ただし、給電点4から左側端部(開放端)までの長さが L_1 あり、給電点4から右側端部(開放端)までの長さが L_2 であるとき、 $L=L_1+L_2$ が成立する。

なお、基板1上にはグランド5が形成されている。

[0015] 次に動作について説明する。

給電点4が給電回路10から電気信号を入力すると、その電気信号が電極3に伝搬する。

電極3の両端は、図1に示すように、電氣的に開放されているため、電気信号が電極3の端部で反射して定在波となる。

[0016] このように、電気信号が電極3の端部で反射して定在波となることにより、電極3とグ

ランド5の間に電界が生じ、この電界が基板1上に形成された光導波路2に到達する。

このため、基板1の電気光学効果により光導波路2の屈折率が変化し、光導波路2における光の伝搬速度が変化する。

[0017] したがって、光導波路2を伝搬した後の光の位相は、給電点4から入力された電気信号の電圧強度に応じて変化し、2本の分岐波路を伝搬した光が相互に干渉するので、図1の共振型光変調器は、光の強度変調器として動作する。

[0018] しかし、この種の共振型光変調器は、給電点4から入力された電気信号の電力の一部が反射によって給電回路10側に戻り、残りの電力が主に電極3で消費される。

これは、電極3に損失があり、電極3のインピーダンス(アドミタンス)に抵抗成分(コンダクタンス成分)があるためである。

[0019] ただし、給電点4から見た電極3のインピーダンスを給電回路10のインピーダンスに近づけて、インピーダンス整合をとれば、給電回路10側に戻る電力を少なくすることができるとともに、電極3に入力できる電力を増やすことができる。この場合、電気光学効果が効率的に行われ、共振型変調器の効率を高めることができる。

ここで、“効率が低い”の意味は、給電点4から入力する電気信号の電力が小さい場合でも、所要の光の変調度が得られるという意味であり、半波長電圧 V_{π} が小さいという事と同意である。

[0020] ここで、給電点4の付近に電氣的な整合回路であるスタブを接続すれば、インピーダンス整合をとることができる旨を先に説明したが、整合回路の製作・調整が必要であり、また、整合回路自体の大きさによって共振器も大きくなってしまう。さらに、整合回路にも少なからず電氣的な損失があるため、インピーダンス整合がとれても、入力電力の一部が整合回路で消費されてしまい、電力が十分に電極3に入力されないなどの不具合が生じる。

[0021] そこで、この実施の形態1では、給電点4の付近に電氣的な整合回路を接続することなく、インピーダンス整合をとることができるようにしている。

具体的には下記の通りである。

[0022] 最初に、給電点4から見込んだ電極3のインピーダンス Z について考察する。ここで

は、説明の簡単化のため、インピーダンス Z の逆数であるアドミタンス Y について考察する。

給電点4から見た電極3は、給電点4の左側の先端と、右側の先端が共に開放になっている線路と見なすことができる。

したがって、給電点4から見込んだ電極3のアドミタンス Y は、給電点4の左側の線路のアドミタンスと、右側の線路のアドミタンスとの和になり、次のように表すことができる。

[数1]

$$Y = Y_0 \tanh \gamma L_1 + Y_0 \tanh \gamma L_2 \quad (1)$$

[0023] 式(1)において、 Y_0 は電極3を線路と見なしたときの特性アドミタンス(特性インピーダンス Z_0 の逆数)である。また、 γ は電極3を線路と見なしたときの複素伝搬定数であり、 $\gamma = \alpha + j\beta$ で表すことができる。 α は線路の減衰定数、 β は波数、 j は虚数単位である。

この電極3のアドミタンス Y は一般的には複素数となる。仮に、電極3のアドミタンス Y が、給電回路10のアドミタンス G_0 (給電回路10のインピーダンス R_0 の逆数)と完全に一致するならば、整合回路を設けることなく、インピーダンス整合がとれ、効率の良い共振型光変調器が得られる。

[0024] この実施の形態1では、電極3の特性アドミタンス Y_0 と、動作周波数によって定まる複素伝搬定数 γ とが与えられたとき、電極3の長さ L_1 、 L_2 を適切に選ぶことにより、完全なインピーダンス整合がとれるようにしている。なお、アドミタンスは、インピーダンスの逆数であるので、インピーダンス整合とアドミタンス整合とは、全く同意である。

[0025] 図1では説明の便宜上、動作周波数 f が10GHzであり、給電回路10のアドミタンス G_0 が $1/50\Omega$ であるとする。また、電極3の特性アドミタンス Y_0 が $1/50\Omega$ であり、電極3を伝搬する電気信号の伝搬速度が、真空中の光速の2.75分の1であるとする。

この場合、電気信号の波数 β が576.3(rad/m)となり、電極3の減衰定数 α が1.0(dB/cm)であるとする(単位を変換すれば、 α は11.51(nep/m)である)。

上記の条件で、電極3の長さ L_1, L_2 を変化させて、電極3のアドミタンス Y が給電回路10のアドミタンス G_0 と完全に一致する条件を求めると次のようになる。

- [0026] 式(1)を用いて系統的に計算を実施すると、電極3のアドミタンス Y が完全に給電回路10のアドミタンス G_0 と一致するのは、長さ L_1, L_2 が特定の飛び飛びの値をとったときのみになる。

図2はアドミタンス整合が完全にとれるときの長さ L_1, L_2 の組の値をグラフ上にプロットしたものである。

図2では、記述を分かり易くするため、長さ L_1, L_2 の値は、動作周波数における電極3上の電気信号の波長 λ_m (10.90mm)で規格化した値で示している。実際には図2にプロットした点よりも多くの点でアドミタンスが完全に一致するが、図2では電極のトータルの長さ L が概ね3波長以下の整合点に限ってプロットしている。

- [0027] 図2から明らかなように、完全に整合がとれているとき、長さ L_1 と L_2 を足した電極3全体の長さ L は、全ての点で、ほぼ半波長の整数倍になっている。

即ち、右下がりの直線 $L = L_1 + L_2 = n \lambda_m / 2$ (n は1以上の整数)の上に、各整合点がついていることが分かる。詳細に調べると、プロットされている点は、厳密には上記の直線上から少しずれているが、このずれは僅かである。

- [0028] 次に、特定の n に対応する一つの直線 $L_1 + L_2 = n \lambda_m / 2$ のみに着目して見てみると、この直線上に対応する整合点は、 $2n$ 個存在している。そして、これらの整合点を複数の区間(長さ L_1, L_2 を $\lambda_m / 4$ 毎に分けた区間)に分けて見てみると、1つの区間には整合点が1つだけ存在していることが分かる。

- [0029] 図3は電極3の特性アドミタンス Y_0 を $1/35 \Omega$ とし、それ以外のパラメータを図2と同一にした場合に、図2と同様の計算を行って整合点を求めたときのグラフである。

整合点の位置は、図2と少し異なっているが、図3においても、全ての整合点が、直線 $L_1 + L_2 = n \lambda_m / 2$ (n は1以上の整数)の上にほぼのっており、電極3の長さ L が半波長のほぼ整数倍になっていることが分かる。また、一つの直線上の整合点は、1つの区間(長さ L_1, L_2 を $\lambda_m / 4$ 毎に分けた区間)に1つずつ存在しており、図2と同様の結果が得られている。

- [0030] 図4は電極3の減衰定数 α を 2.0 (dB/cm) 、即ち、 23.03 (nep/m) とし、それ

以外のパラメータを図2と同一にした場合に、図2と同様の計算を行って整合点を求めたときのグラフである。

整合点の位置は、図2及び図3と少し異なっているが、図4においても、図2及び図3の場合と同様に、全ての整合点が、直線 $L_1 + L_2 = n \lambda_m / 2$ (n は1以上の整数)の上にはほぼのっており、電極3の長さ L が半波長のほぼ整数倍になっていることが分かる。また、一つの直線上の整合点は、1つの区間(長さ L_1 , L_2 を $\lambda_m / 4$ 毎に分けた区間)に1つずつ存在しており、図2と同様の結果が得られている。

このように特性アドミタンスや減衰定数が異なった場合においても、整合がとれる条件は、同様の特徴を有していることが分かる。

- [0031] 図1の共振型光変調器では、電極3の特性アドミタンス Y_0 を $1/50 \Omega$ とし、減衰定数 α を 1.0 (dB/cm) としている。そして、電極3の給電点4から左側の長さ L_1 を $0.694 \lambda_m$ とし、給電点4から右側の長さ L_2 を $0.308 \lambda_m$ として、電極3の全体の長さ L を $1.002 \lambda_m$ としている。ただし、電極3の端部の効果などを若干補正して、電極3の長さの実効的な値を上記の値にしている。

上記のようにして、長さ L_1 , L_2 等を設定すると、図2から分かるように、電極3のインピーダンス Z が、給電回路10のインピーダンス 50Ω と完全に一致する条件を満足する。

したがって、給電点4の付近にスタブなどの整合回路を設けなくても、反射による損失が全くなく、給電点4から入力された電気信号の電力がすべて電極3に供給される。

- [0032] 以上で明らかなように、この実施の形態1によれば、給電点4から電極3を見たときのインピーダンスが給電回路10のインピーダンスと略一致するように、電極3の長さと給電点4の位置を決定しているので、給電点4の付近に整合回路を設けることなく、外部回路とのインピーダンス整合をとることができる効果を奏する。

- [0033] したがって、電極3に電気信号の共振を効率良く生じさせることができるとともに、半波長電圧 V_π の小さい共振型光変調器を得ることができる。

なお、電極3の長さ L_1 , L_2 等が上記の値から若干ずれていても、上記の値に概略一致させることによって、反射損失等を非常に小さく抑えることができる。

[0034] この実施の形態1では、光導波路2の一部が2つの経路に分岐しているものについて示したが、即ち、光導波路2をマッハツェンダー型に形成して、光の強度を変調する強度変調器を構成するものについて示したが、図5に示すように、光導波路2が単一の経路を構成しているようにしてもよい。

この場合、光導波路2を伝搬した後の光の位相を、給電点4から入力された電気信号に応じて変化させる光の位相変調器として動作する共振型光変調器を得ることができる。

[0035] 実施の形態2.

図6はこの発明の実施の形態2による共振型光変調器を示す構成図である。図において、図1と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

電極11は光導波路2に沿うように基板1上に形成され、その両端が電氣的に短絡されている。電極11の長さLは電気信号の約1波長の長さに設計されている。

[0036] 給電点12は電極11上の1点に形成され、給電回路10から電気信号を入力して電極11に供給する。ただし、給電点12から左側端部(短絡端)までの長さが L_1 あり、給電点12から右側端部(短絡端)までの長さが L_2 であるとき、 $L = L_1 + L_2$ が成立する。

[0037] 次に動作について説明する。

図6の共振型光変調器は、電極11の両端部が電氣的に短絡されているが、電氣的に短絡されている場合も、電氣的に開放されている場合と同様に、電気信号の反射が効率良く行われる。したがって、特定の周波数において電極11上に共振が生じる。このため、光が効率良く変調され、図1の共振型光変調機器と同様に動作する。

[0038] 給電点12から電極11を見ると、端部が電氣的に短絡になっている線路が両側に接続されているものと見なせる。

したがって、給電点12から見込んだ電極11のアドミタンスYは、給電点12の左側の線路のアドミタンスと、右側の線路のアドミタンスとの和になり、次のように表すことができる。

[数2]

$$Y = Y_0 \coth \gamma L_1 + Y_0 \coth \gamma L_2 \quad (2)$$

ただし、式(2)の記号である Y_0 や γ は式(1)と同じであり、この場合においても、電極11のアドミタンス Y を給電回路10のアドミタンス G_0 と完全に一致させる条件が存在する。

- [0039] 図7は電極11の両端が電氣的に短絡されているとき、アドミタンス整合条件を完全に満たす長さ L_1 、 L_2 を図2と同様にプロットしたものである。ただし、長さ L_1 と L_2 の和、即ち、電極11の長さ L が概ね3波長以下のもののみをプロットしている。

特性アドミタンスや複素伝搬定数などの電極11の物理パラメータは、図2と同一である。図7における整合点は、図2における整合点と位置が異なっている。

しかし、図7における全ての整合点は、図2と同様に、直線 $L = L_1 + L_2 = n \lambda_m / 2$ (n は1以上の整数)の上にはほぼのっていることが分かる。詳細に調べると、プロットされている点は、厳密には上記の直線上から少しずれているが、このずれは僅かである。

- [0040] 次に、特定の n に対応する一つの直線 $L_1 + L_2 = n \lambda_m / 2$ のみに着目して見てみると、この直線上に対応する整合点は、 $2n$ 個存在している。そして、これらの整合点を複数の区間(長さ L_1 、 L_2 を $\lambda_m / 4$ 毎に分けた区間)に分けて見てみると、1つの区間には整合点が1つだけ存在していることが分かる。

- [0041] 図6の共振型光変調器では、電極11の給電点12から左側の長さ L_1 を $0.556 \lambda_m$ とし、給電点12から右側の長さ L_2 を $0.443 \lambda_m$ として、電極11の全体の長さ L を $0.999 \lambda_m$ としている。

したがって、図6から明らかなように、電極3のインピーダンス Z が、給電回路10のインピーダンス 50Ω と完全に一致するため、給電点12の付近にスタブなどの整合回路を設けなくても、反射による損失が全くなく、給電点12から入力された電気信号の電力がすべて電極11に供給される。

- [0042] これにより、給電点12の付近に整合回路を設けることなく、外部回路とのインピーダンス整合をとることができるため、電極11に電気信号の共振を効率良く生じさせることができるとともに、半波長電圧 V_π の小さい共振型光変調器を得ることができる効果

が得られる。

なお、電極11の長さ L_1 、 L_2 等が上記の値から若干ずれていても、上記の値に概略一致させることによって、反射損失等を非常に小さく抑えることができる。

- [0043] この実施の形態2では、光導波路2の一部が2つの経路に分岐しているものについて示したが、即ち、光導波路2をマッハツェンダー型に形成して、光の強度を変調する強度変調器を構成するものについて示したが、図5の共振型光変調器と同様に、光導波路2が単一の経路を構成しているようにしてもよい。

この場合、光導波路2を伝搬した後の光の位相を、給電点12から入力された電気信号に応じて変化させる光の位相変調器として動作する共振型光変調器を得ることができる。

- [0044] 実施の形態3.

図8はこの発明の実施の形態3による共振型光変調器を示す構成図である。図において、図1と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

電極13は光導波路2に沿うように基板1上に形成され、その左側の端部が電氣的に短絡され、右側の端部が電氣的に開放されている。電極13の長さ L は電気信号の約1波長の長さに設計されている。

- [0045] 給電点14は電極13上の1点に形成され、給電回路10から電気信号を入力して電極13に供給する。ただし、給電点14から左側端部(短絡端)までの長さが L_1 あり、給電点14から右側端部(開放端)までの長さが L_2 であるとき、 $L=L_1+L_2$ が成立する。

- [0046] 次に動作について説明する。

図8の共振型光変調器は、電極13の左側の端部が電氣的に短絡され、右側の端部が電氣的に開放されているが、どちらの端部も、電極13を伝搬する電気信号を効率的に反射する。

したがって、特定の周波数において電極13上に共振が生じる。このため、光が効率良く変調され、図1及び図6の共振型光変調器と同様に動作する。

- [0047] 給電点14から電極13を見ると、電極13のアドミタンスは、左側の端部が電氣的に短絡されている線路のアドミタンスと、右側の端部が電氣的に開放されている線路のアドミタンスとの和になり、次のように表すことができる。

[数3]

$$Y = Y_0 \coth \gamma L_1 + Y_0 \tanh \gamma L_2 \quad (3)$$

ただし、式(3)の記号である Y_0 や γ は式(1)(2)と同じであり、この場合においても、電極13のアドミタンス Y を給電回路10のアドミタンス G_0 と完全に一致させる条件が存在する。

[0048] 図9は電極13の左側の端部が電氣的に短絡され、右側の端部が電氣的に開放されているとき、アドミタンス整合条件を完全に満たす長さ L_1 、 L_2 を図2と同様にプロットしたものである。ただし、長さ L_1 と L_2 の和、即ち、電極13の長さ L が概ね2.75波長以下のもののみをプロットしている。

特性アドミタンスや複素伝搬定数などの電極13の物理パラメータは、図2及び図7と同一である。

[0049] 図9を見ると、図2及び図7と同様に、全ての整合点がある特定の直線上にほぼのって存在している。

しかし、図9では、図2及び図7と異なり、完全に整合がとれているとき、長さ L_1 と L_2 を足した電極13の全体の長さ L が、全ての整合点で、電気信号のほぼ4分の1波長の奇数倍になっている。

即ち、全ての整合点が、直線 $L = L_1 + L_2 = (2n-1) \lambda_m / 4$ (n は1以上の整数)の上にはほぼのっていることが分かる。

詳細に調べると、プロットされている点は、厳密には上記の直線上から少しずれているが、このずれは僅かである。

[0050] 次に、特定の n に対応する一つの直線 $L_1 + L_2 = (2n-1) \lambda_m / 4$ のみに着目して見ると、この直線上に対応する整合点は、 $(2n-1)$ 個存在している。そして、これらの整合点を複数の区間(長さ L_1 、 L_2 を $\lambda_m / 4$ 毎に分けた区間)に分けて見ると、1つの区間には整合点が1つだけ存在していることが分かる。

[0051] 図9では、電極13の左端が電氣的に短絡され、右端が電氣的に開放されている場合を示したが、電極13の左端が電氣的に開放され、右端が電氣的に短絡されている

場合は、式(3)及び図9の L_1 と L_2 を入れ替えることにより、全く同様の結果が得られる。

- [0052] 図8の共振型光変調器では、電極13の給電点14から左側の長さ L_1 を $0.451\lambda_m$ とし、給電点14から右側の長さ L_2 を $0.300\lambda_m$ として、電極13の全体の長さ L を $0.751\lambda_m$ としている。

したがって、図9から明らかなように、電極13のインピーダンス Z が、給電回路10のインピーダンス 50Ω と完全に一致するため、給電点14の付近にスタブなどの整合回路を設けなくても、反射による損失が全くなく、給電点14から入力された電気信号の電力がすべて電極13に供給される。

- [0053] これにより、給電点14の付近に整合回路を設けることなく、外部回路とのインピーダンス整合をとることができるため、電極13に電気信号の共振を効率良く生じさせることができるとともに、半波長電圧 V_π の小さい共振型光変調器を得ることができる効果を得られる。

なお、電極13の長さ L_1 、 L_2 等が上記の値から若干ずれていても、上記の値に概略一致させることによって、反射損失等を非常に小さく抑えることができる。

- [0054] この実施の形態3では、光導波路2の一部が2つの経路に分岐しているものについて示したが、即ち、光導波路2をマッハツェンダー型に形成して、光の強度を変調する強度変調器を構成するものについて示したが、図5の共振型光変調器と同様に、光導波路2が単一の経路を構成しているようにしてもよい。

この場合、光導波路2を伝搬した後の光の位相を、給電点14から入力された電気信号に応じて変化させる光の位相変調器として動作する共振型光変調器を得ることができる。

- [0055] 実施の形態4.

図10はこの発明の実施の形態4による共振型光変調器を示す構成図である。図において、図1と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

給電点15は電極3上の1点に形成され、給電回路10から電気信号を入力して電極3に供給する。ただし、給電点15から左側端部(開放端)までの長さが L_1 あり、給電点15から右側端部(開放端)までの長さが L_2 であるとき、 $L=L_1+L_2$ が成立する。

[0056] また、電極3の左側の長さ L_1 を $0.191\lambda_m$ 、右側の長さ L_2 を $0.805\lambda_m$ として、全体の長さ L を $0.996\lambda_m$ としている。電極3の他の物理パラメータは、図1の共振型光変調器と同一である。なお、光導波路2を伝播する光は、図中、左側から入力して、右側に出力するものとしている。したがって、光導波路2中の光は、図中、左側から右側へ向かって伝搬している。

[0057] 図2から明らかなように、長さ L_1 、 L_2 が上記の値である場合も、電極3のインピーダンス Z が、給電回路10のインピーダンス 50Ω と完全に一致する。

したがって、図10の共振型光変調器も、給電点15の付近にスタブなどの整合回路を用いることなく、電極3に電気信号の共振を効率良く生じさせることができ、半波長電圧 V_π の小さい共振型光変調器を得ることができる。

[0058] 図10の共振型光変調器における長さ L_1 、 L_2 の値は、図2における直線($L_1 + L_2 = n\lambda_m / 2$)の n が“2”である場合において、 L がほぼ1波長である場合の直線上に対応している。

この直線上には4つの整合点が存在するが、図10の共振型光変調器は、長さ L_1 が最も小さい値のものであり、 $\lambda_m / 4$ 以内の値になっている。

[0059] 電極3には共振によって電気信号の定在波が生じており、この定在波は電極3を左側から右側に向かって伝搬する波と、右側から左側に向かって伝搬する波との重なり合いでできている。図10においては、光導波路2には、図中、左側から右側に向かって光が伝搬している。

光の伝搬速度は、真空中を伝搬する光の速度の2.2分の1の速さとしている。光導波路2中の光は、左側から右側に向かって伝搬しているので、光が感じる電界は、電気信号の定在波のうち、主に左側から右側に向かって伝搬する波によって生じる電界である。

[0060] 電極3には必ず多少の損失があるので、給電点15から電極3に入力された電気信号は、共振を生じながら伝搬されているが、電極3の中で少しずつ減衰している。したがって、電気信号を電極3に入力する際には、給電点15をできるだけ左側に設置し、できるだけ左側から電気信号を入力した方が、同じ入力電力であっても、左側から右側に向かって伝搬する波の成分を大きくすることができる。

[0061] 図10の共振型光変調器では、図2において、電極3の長さ L がほぼ1波長である4つの整合点のうち、最も左側になる整合点を選択している。

即ち、長さ L_1 の値が最も小さい整合点を選択している。このような整合点は、 $L = n \lambda_m / 2$ (n は1以上の整数)のそれぞれの n に対応する直線において、長さ L_1 の値が $\lambda_m / 4$ より小さいところに必ず1つずつ存在している。

図10の共振型光変調器では、長さ L_1 を $0.191 \lambda_m$ としており、上記の条件を満足している。したがって、電極3の長さ L が同一である条件下では、左側に進行する電気信号の成分を最も大きくすることができ、最も効率の大きい共振型光変調器を得ることができる。

[0062] なお、電極3の長さ等 L_1, L_2 が上記の値から若干ずれていても、上記の値に概略一致させることによって、反射損失等を非常に小さく抑えることができる。

また、電極3の両端が電氣的に短絡されている場合にも、対応する整合点を上記と同様に選択することによって、同様の効果を得ることができる。

さらに、電極3の両端部のうち、一方の端部が電氣的に短絡され、他方の端部が電氣的に開放されている場合においても、既述した整合点の中で、電極3上の光の入力側から $\lambda_m / 4$ 以内の点にある給電点15を選択することにより、やはり同様の効果を得ることができ、最大の効率を有する共振型光変調器を得ることができる。

[0063] この実施の形態4では、光導波路2の一部が2つの経路に分岐しているものについて示したが、即ち、光導波路2をマッハツェンダー型に形成して、光の強度を変調する強度変調器を構成するものについて示したが、図5の共振型光変調器と同様に、光導波路2が単一の経路を構成しているようにしてもよい。

この場合、光導波路2を伝搬した後の光の位相を、給電点15から入力された電気信号に応じて変化させる光の位相変調器として動作する共振型光変調器を得ることができる。

[0064] 以上の実施の形態1〜4において、電極の特性アドミタンスや複素伝搬定数などの物理パラメータが特定の値である場合について示したが、これに限るものではなく、物理パラメータが異なる値の場合でも同様にインピーダンス整合条件を求めることができる。

さらに、上記実施の形態1〜4では、電極の左側と右側における特性アドミタンスや複素伝搬定数などの物理パラメータが等しいものについて示したが、これに限るものではなく、左側と右側において、電極の断面形状が異なる場合など、電極の物理パラメータが異なる場合でも同様にインピーダンス整合条件を求めることができ、同様の効果を得ることができる。

- [0065] また、上記実施の形態1〜4では、電気光学効果を有するニオブ酸リチウムからなる基板1を示したが、ニオブ酸リチウム以外の電気光学効果を有する結晶や、他の材料を用いて基板1を構成してもよく、同様の効果を奏することができる。

また、いわゆるZカットやXカットなどのカット角に拘わらず、本発明の効果は同様に得られる。

産業上の利用可能性

- [0066] 以上のように、この発明に係る共振型光変調器は、電気光学効果により光導波路の屈折率を変化させて、その光導波路を伝搬する光の強度や位相を変調するに際して、その変調効率を高める必要がある光通信システムの送信装置などに用いるのに適している。

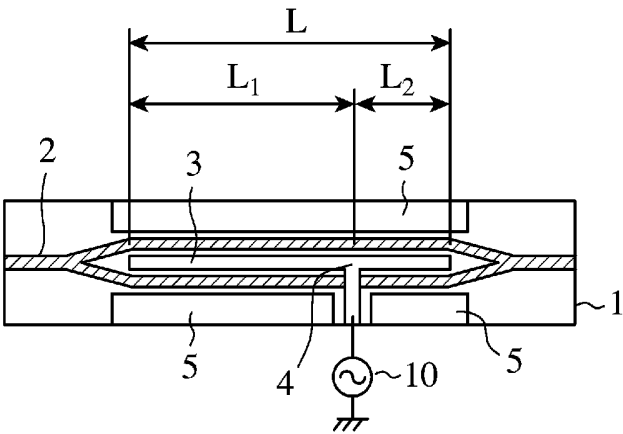
請求の範囲

- [1] 電気光学効果を有する基板上に形成された光導波路と、上記光導波路に沿うように上記基板上に形成された電極と、給電回路から上記電極に供給する電気信号を入力する給電点とを備えた共振型光変調器において、上記給電点から上記電極を見たときのインピーダンスが上記給電回路のインピーダンスと略一致するように、上記電極の長さと上記給電点の位置を決定していることを特徴とする共振型光変調器。
- [2] 電極の両端部が電氣的に開放されている場合、上記電極の電氣的な特性アドミタンスと電氣的な複素伝搬定数を考慮して、給電点から上記電極の一方の開放端までの長さと、上記給電点から上記電極の他方の開放端までの長さを決定していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の共振型光変調器。
- [3] 電極の長さが電気信号の半波長の略整数倍の長さであることを特徴とする請求の範囲第2項記載の共振型光変調器。
- [4] 電極の両端部が電氣的に短絡されている場合、上記電極の電氣的な特性アドミタンスと電氣的な複素伝搬定数を考慮して、給電点から上記電極の一方の短絡端までの長さと、上記給電点から上記電極の他方の短絡端までの長さを決定していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の共振型光変調器。
- [5] 電極の長さが電気信号の半波長の略整数倍の長さであることを特徴とする請求の範囲第4項記載の共振型光変調器。
- [6] 電極の一方の端部が電氣的に開放され、他方の端部が電氣的に短絡されている場合、上記電極の電氣的な特性アドミタンスと電氣的な複素伝搬定数を考慮して、給電点から上記電極の開放端までの長さと、上記給電点から上記電極の短絡端までの長さを決定していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の共振型光変調器。
- [7] 電極の長さが電気信号の4分の1波長の略奇数倍の長さであることを特徴とする請求の範囲第6項記載の共振型光変調器。
- [8] 電極の両端部のうち光導波路における光の入力端側の端部から、電気信号の4分の1波長以内の位置に給電点を設けていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の共振型光変調器。
- [9] 光導波路の一部が2つの経路に分岐していることを特徴とする請求の範囲第1項記

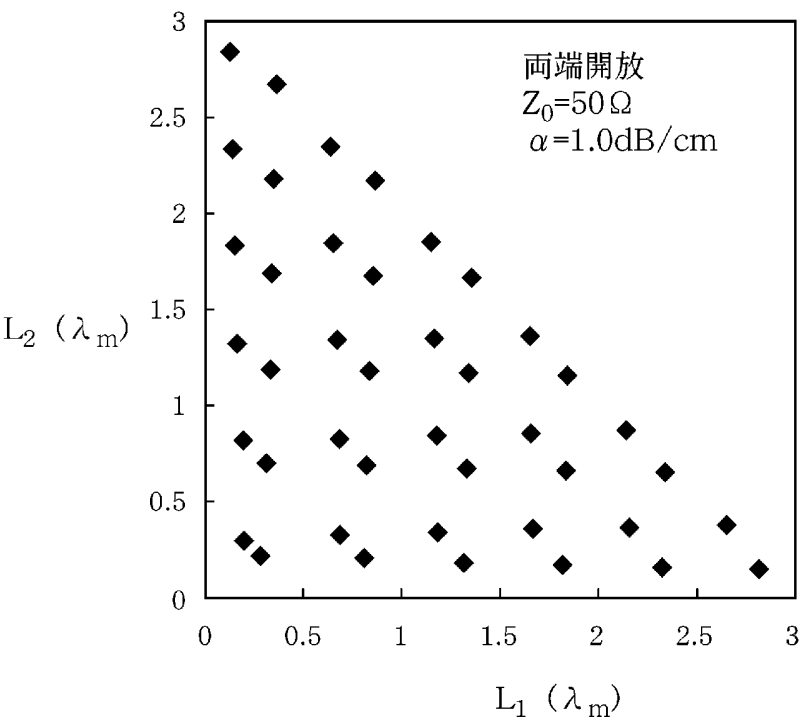
載の共振型光変調器。

- [10] 光導波路が単一の経路を構成していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の共振型光変調器。

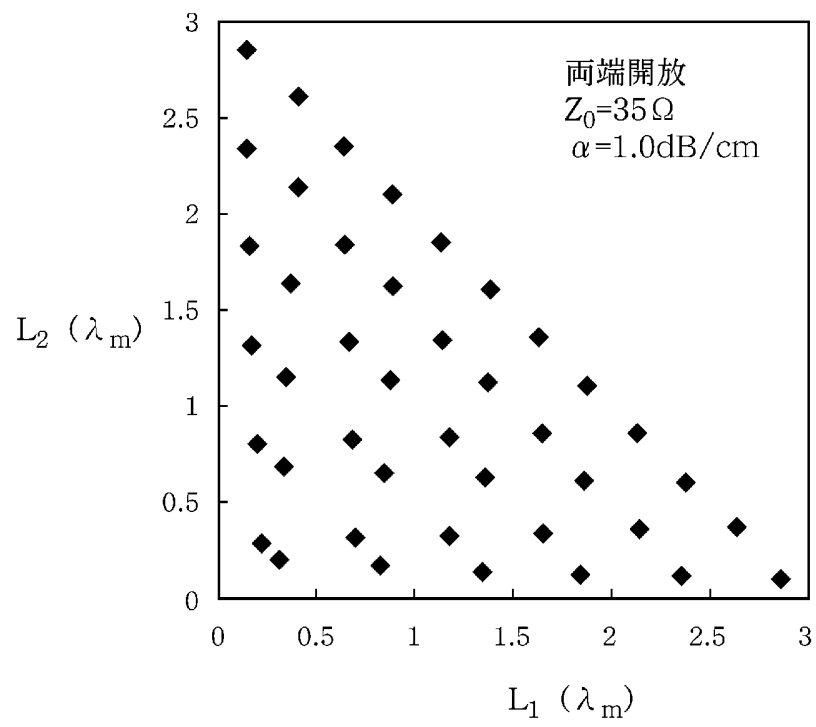
[図1]



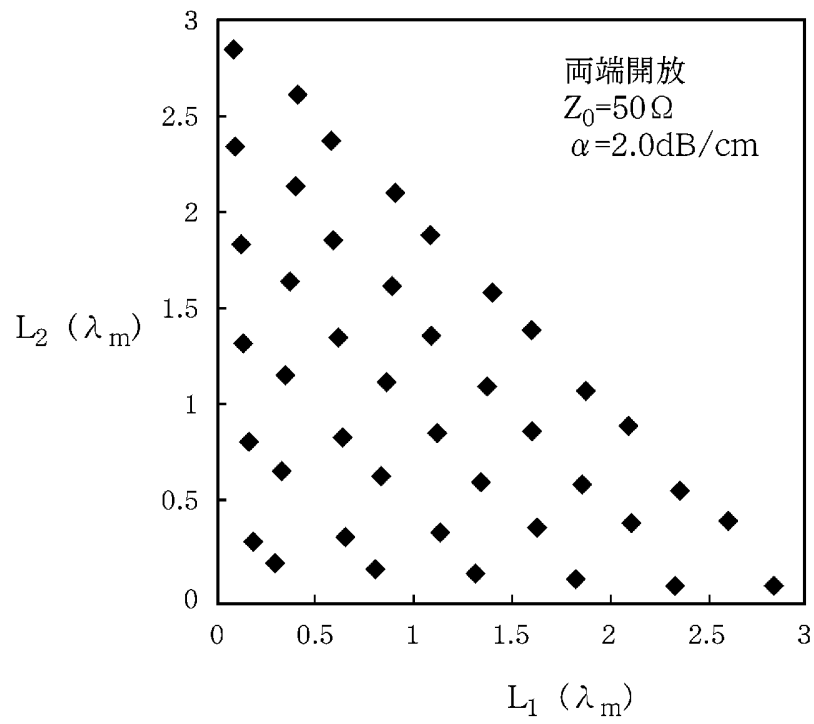
[図2]



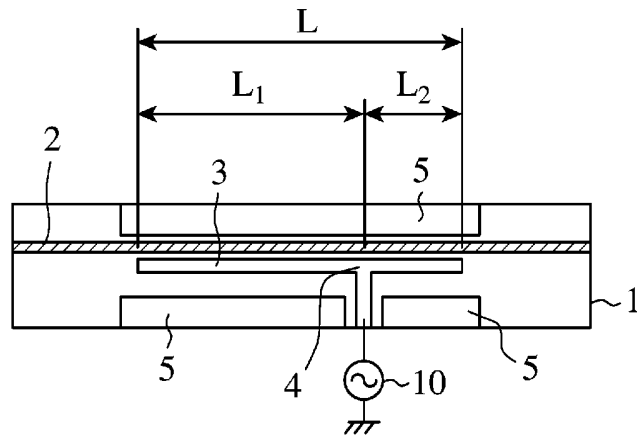
[図3]



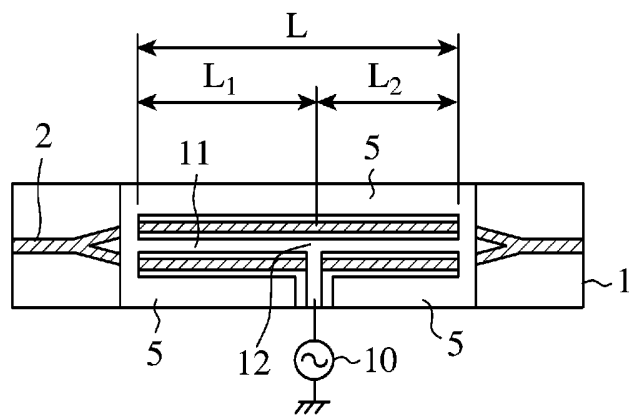
[図4]



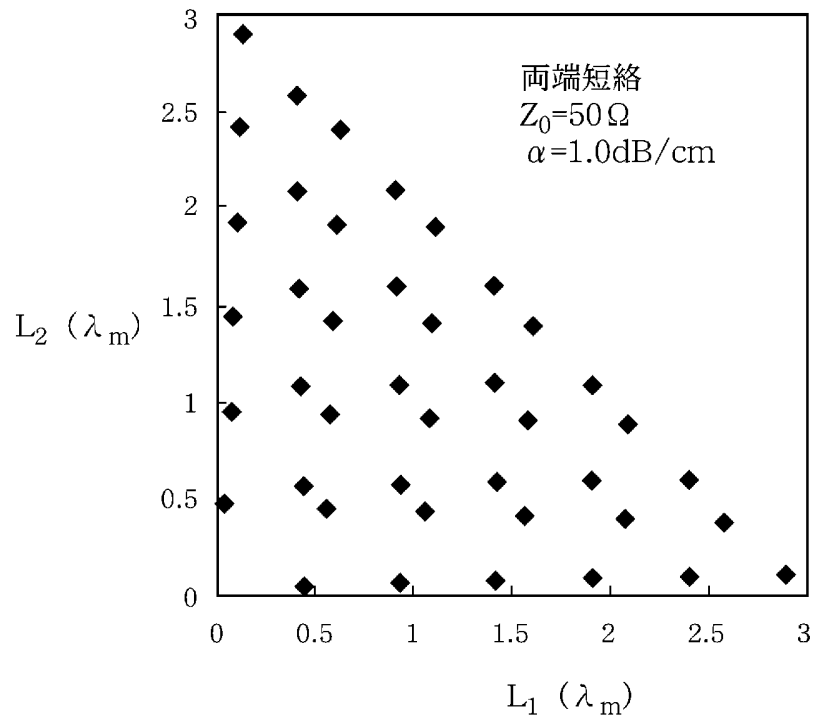
[図5]



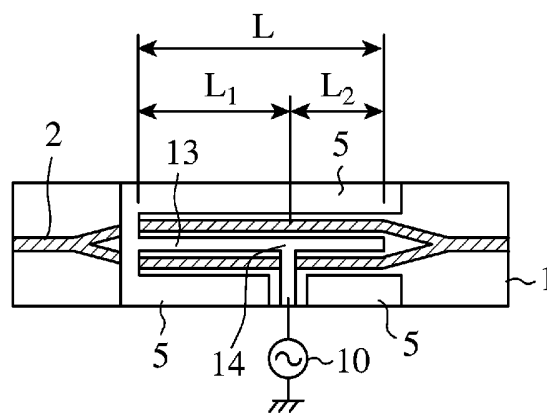
[図6]



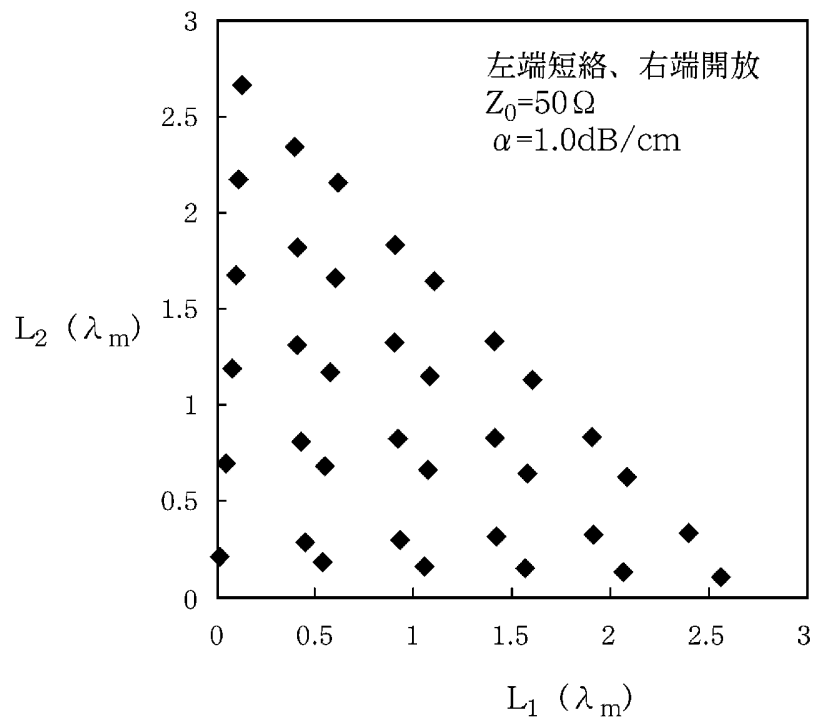
[図7]



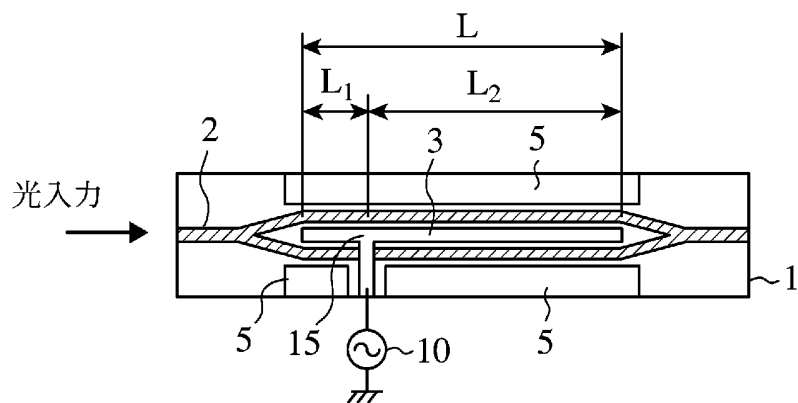
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008614

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02F1/035

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02F1/00-1/125

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JOIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-72158 A (Communications Research Laboratory), 12 March, 2002 (12.03.02), Full text (Family: none)	1-3, 8-10 6-7
X Y	JP 9-230296 A (Fujitsu Ltd.), 05 September, 1997 (05.09.97), Full text (Family: none)	4-5, 8-10 6-7
Y	JP 2002-268024 A (Communications Research Laboratory), 18 September, 2002 (18.09.02), Full text & US 2002/0154378 A1	6-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 July, 2004 (07.07.04)Date of mailing of the international search report
03 August, 2004 (03.08.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F1/035

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F1/00-1/125

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 2002-72158 A(独立行政法人通信総合研究所)2002.03.12 全文 (ファミリーなし)	1-3, 8-10 6-7
X Y	JP 9-230296 A(富士通株式会社)1997.09.05 全文 (ファミリーなし)	4-5, 8-10 6-7
Y	JP 2002-268024 A(独立行政法人通信総合研究所)2002.09.18 全文 & US 2002/0154378 A1	6-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.07.2004

国際調査報告の発送日

03.8.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

植田 高盛

2X

2912

電話番号 03-3581-1101 内線 3293