

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6107868号  
(P6107868)

(45) 発行日 平成29年4月5日(2017.4.5)

(24) 登録日 平成29年3月17日(2017.3.17)

(51) Int. Cl. F 1  
G 0 2 F 1/035 (2006.01) G 0 2 F 1/035

請求項の数 6 (全 10 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-74091 (P2015-74091)                  (22) 出願日 平成27年3月31日 (2015. 3. 31)                  (65) 公開番号 特開2016-194574 (P2016-194574A)                  (43) 公開日 平成28年11月17日 (2016. 11. 17)                  審査請求日 平成28年3月30日 (2016. 3. 30)</p>	<p>(73) 特許権者 000183266                  住友大阪セメント株式会社                  東京都千代田区六番町6番地28                  (74) 代理人 100116687                  弁理士 田村 爾                  (74) 代理人 100098383                  弁理士 杉村 純子                  (72) 発明者 細川 洋一                  東京都千代田区六番町6番地28 住友大阪セメント株式会社内                  (72) 発明者 宮崎 徳一                  東京都千代田区六番町6番地28 住友大阪セメント株式会社内                  審査官 廣崎 拓登</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気光学効果を有する基板と、  
 該基板に形成された複数のマッハツェンダー光導波路部を有する光導波路と、  
 該光導波路内を伝搬する光波を制御するための信号電極及び接地電極を有する制御電極とを備えた光導波路素子において、

該信号電極は、各マッハツェンダー光導波路部に対応して配置される信号電極を複数有すると共に、各信号電極が、該光導波路内を伝搬する光波を制御する作用部と、該作用部に接続された配線部とに区分され、

該配線部は、該配線部が該光導波路上に配置される交差部分に、該配線部の幅が該交差部分の前後の配線部の幅と比較して狭い狭窄部を有することを特徴とする光導波路素子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光導波路素子において、  
 該狭窄部を挟む該接地電極の間隔が、該狭窄部の前後で該信号電極を挟む該接地電極の間隔と略同じであることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の光導波路素子において、  
 該狭窄部の幅が、該交差部分の前後の配線部の幅の 0.75 倍以下であることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 4】

10

20

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の光導波路素子において、  
該狭窄部の長さが、該光導波路内を伝搬する光波のモードフィールド径の 1.5 倍以上であることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の光導波路素子において、  
該配線部の幅が、該狭窄部に向かって徐々に狭まることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の光導波路素子において、  
該交差部分において該配線部の中心線と該光導波路の中心線とが交差する角度が、45 度以上 90 度以下であることを特徴とする光導波路素子。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光導波路素子に関し、特に、光導波路の一部に隣接して電極が形成される光導波路素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、光通信や光計測の分野において、電気光学効果を有する基板上に光導波路を形成すると共に、光導波路内を伝搬する光波を制御するための制御電極を形成した導波路型光変調器などの光導波路素子が多用されている。

20

このような光導波路素子における制御電極は、信号電極を接地電極で挟むように配置した構成となっており、その形状について種々の発明が提案されている（例えば、特許文献 1, 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2013 - 242592 号公報

【特許文献 2】特許第 4771451 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

例えば、光導波路が形成される基板上に信号電極が形成される X カットのニオブ酸リチウム (LN) 光変調器では、信号電極の配線の制約上、信号電極と光導波路を部分的に交差させる必要があるため、信号電極が光導波路上を跨ぐように配置される箇所が局所的に生じる。

図 1 は、従来の光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。図 1 の例では、2 つの接地電極 3, 4 に挟まれた均一幅の信号電極 2 が、光導波路 1 を跨ぐように配置されている。

【0005】

制御電極が電気光学効果を有する基板上に直接形成される場合、制御電極と光導波路の交差が生じる箇所では制御電極が光導波路上に直接形成される。制御電極は金などの金属材料で形成されるが、金属材料は光の波長では複素屈折率をもつ物質として振る舞う。このため制御電極は、導波路に対して複素屈折率をもつクラッドとして作用するため、光導波路を伝搬する光を吸収してしまい光の過剰損失が発生してしまう。

40

特に、マッハツェンダー (MZ) 光導波路を複数備えた MZ 集積型の光導波路素子の場合、光導波路上に信号電極が配置される箇所が多く、光導波路と信号電極が重なり合う面積が大きくなるため光過剰損失がより大きくなる。さらに、MZ 光導波路により形成される MZ 干渉計では、高い ON/OFF 消光比を実現するために、合波前の各光導波路の光パワーが等しくなるように、光過剰損失が最も大きな光導波路を基準として損失を調整する必要があるため、素子全体の光過剰損失が大きくなるという課題がある。

50

## 【0006】

上記光過剰損失を防ぐため、導波路形成後の基板表面に誘電体  $\text{SiO}_2$  等のバッファ層を設け、該バッファ層の上側に制御電極を形成する手段が用いられている。該バッファ層の厚さを  $0.3 \mu\text{m}$  以上、より望ましくは  $0.5 \mu\text{m}$  以上とすることで、上記光過剰損失を防ぐことができる。しかしながら、バッファ層を形成することで、該制御電極が該光導波路を伝搬する光波を制御する領域において、電界の印可効率が低減するため、変調器の駆動電圧が高くなる課題が生じる。また、該信号電極と該光導波路の交差が生じる箇所にのみバッファ層を形成する手法も考えられるが、パターンニングを施したバッファ層で良質な膜を得ることは作製上難しく、また、パターンニング膜に起因する不均一な膜応力の影響により、光導波路素子のバイアス点変動等も問題になる。

10

## 【0007】

本発明が解決しようとする課題は、上述した問題を解決し、低駆動電圧を実現しながらも、光過剰損失を低く抑えることができる光導波路素子を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

上記課題を解決するため、本発明の光導波路素子は以下のような技術的特徴を有する。  
 (1) 電気光学効果を有する基板と、該基板に形成された複数のマッハツェンダー光導波路部を有する光導波路と、該光導波路内を伝搬する光波を制御するための信号電極及び接地電極を有する制御電極とを備えた光導波路素子において、該信号電極は、各マッハツェンダー光導波路部に対応して配置される信号電極を複数有すると共に、各信号電極が、該光導波路内を伝搬する光波を制御する作用部と、該作用部に接続された配線部とに区別され、該配線部は、該配線部が該光導波路上に配置される交差部分に、該配線部の幅が該交差部分の前後の配線部の幅と比較して狭い狭窄部を有することを特徴とする。

20

## 【0009】

(2) 上記(1)に記載の光導波路素子において、該狭窄部を挟む該接地電極の間隔が、該狭窄部の前後で該信号電極を挟む該接地電極の間隔と略同じであることを特徴とする。

## 【0010】

(3) 上記(1)又は(2)に記載の光導波路素子において、該狭窄部の幅が、該交差部分の前後の配線部の幅の  $0.75$  倍以下であることを特徴とする。

30

## 【0011】

(4) 上記(1)乃至(3)のいずれかに記載の光導波路素子において、該狭窄部の長さが、該光導波路内を伝搬する光波のモードフィールド径の  $1.5$  倍以上であることを特徴とする。

## 【0012】

(5) 上記(1)乃至(4)のいずれかに記載の光導波路素子において、該配線部の幅が、該狭窄部に向かって徐々に狭まることを特徴とする。

## 【0013】

(6) 上記(1)乃至(5)のいずれかに記載の光導波路素子において、該交差部分において該配線部の中心線と該光導波路の中心線とが交差する角度が、 $45$  度以上  $90$  度以下であることを特徴とする。

40

## 【発明の効果】

## 【0014】

本発明により、信号電極は、該信号電極の配線部が該光導波路上に配置される交差部分に、該配線部の幅が該交差部分の前後の配線部の幅と比較して狭い狭窄部を有するので、低駆動電圧を実現しながらも、光過剰損失を低く抑えることができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0015】

【図1】従来の光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。

50

【図2】本発明に係る光導波路素子の基板における配線構造の例を示す図である。

【図3】本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。

【図4】本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。

【図5】本発明に係る光導波路素子における伝搬特性のシミュレーション結果の例を示す図である。

【図6】本発明に係る光導波路素子における反射特性のシミュレーション結果の例を示す図である。

【図7】本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。

10

【図8】本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。

【図9】本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明に係る光導波路素子について、詳細に説明する。

本発明に係る光導波路素子は、電気光学効果を有する基板と、該基板に形成された複数のマッハツェンダー光導波路部を有する光導波路と、該光導波路内を伝搬する光波を制御するための信号電極及び接地電極を有する制御電極とを備えた光導波路素子において、該信号電極は、各マッハツェンダー光導波路部に対応して配置される信号電極を複数有すると共に、各信号電極が、該光導波路内を伝搬する光波を制御する作用部と、該作用部に接続された配線部とに区分され、該配線部は、該配線部が該光導波路上に配置される交差部分に、該配線部の幅が該交差部分の前後の配線部の幅と比較して狭い狭窄部を有することを特徴とする。

20

【0017】

基板は、例えば、ニオブ酸リチウム、ニオブ酸タンタレート、タンタル酸リチウム、PLZT（ジルコン酸チタン酸鉛ランタン）、及び石英系の材料及びこれらの組み合わせが利用可能である。特に、Xカットの基板において電気光学効果の高いニオブ酸リチウムやニオブ酸タンタレートが好適に利用される。

30

【0018】

光導波路は、例えば、Tiなどを熱拡散法やプロトン法などで基板表面に拡散させることにより形成することができる。

また、制御電極は、例えば、Ti・Auの電極パターンの形成及び金メッキ法などにより形成することができる。

【0019】

図2は、本発明に係る光導波路素子の基板における配線構造の例を示す図であり、4本のマッハツェンダー光導波路が並列に配置されており、制御電極を構成する信号電極2が不図示の接地電極と協働して光導波路1に電界を印加することで、光導波路1内を伝搬する光波を制御する。

40

信号電極2は、光導波路1内を伝搬する光波を制御する作用部aと、作用部aに接続された配線部b, cとに区分でき、配線部b, cには、信号電極2が光導波路1上に跨ぐように配置される箇所（例えば、図中のAにおける交差の部分）が局所的に生じる。

【0020】

図3は、本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の例を示す図である。同図では、信号電極2の幅を、光導波路1との交差部分の領域で急激に狭めた構造としている。

図4は、本発明に係る光導波路素子において信号電極と光導波路の交差が生じる箇所の他の例を示す図である。同図では、信号電極2の幅を、光導波路1との交差部分の領域に

50

向かって徐々に狭まるように連続して変化させている。

【0021】

図3、図4のいずれにおいても、2つの接地電極3, 4に挟まれた信号電極2は、光導波路1上に配置される交差部分に、信号電極2の幅が該交差部分の前後と比較して狭い狭窄部を有している。このため、光導波路1上に配置される信号電極2の面積が従来例(図1)と比較して小さくなるので、信号電極2の影響による光過剰損失が低く抑えられる。

特に、複数のマッハツェンダー光導波路が集積された光導波路素子では、信号電極2が光導波路1上に配置される交差部分が多くなるため、本発明による効果大きい。

ここで、交差部分とは、信号電極2と光導波路1とが実際に交差する(重なり合う)区間と、その近傍の区間(信号電極2が光導波路1の光過剰損失に影響を及ぼす区間)とを含む。図3, 4では、信号電極2における光導波路1を中心とした $L_{str}$ の長さの区間(光導波路1の幅よりも若干広めの区間)が、信号電極2と光導波路1の交差部分に該当する。

また、交差部分の前後とは、信号電極2の幅が、信号電極2の配線の基本幅 $W_{hot}$ となっている部分である。

そして、交差部分に、信号電極2の幅をその前後と比較して狭い(基本幅 $W_{hot}$ より小さい) $W_{str}$ とした狭窄部を設けている。

【0022】

なお、図3のように、信号電極2の幅が急激に変化する不連続構造の場合には、高周波信号の反射特性や伝搬特性の劣化が懸念される。このため、高周波特性の観点から、図4のように、信号電極2の幅が徐々に狭まるテーパ形状であることが好ましい。

また、図3、図4では、信号電極2の幅を、狭窄部とその前後で直線的に変化させているが、曲線的に変化させるようにしてもよい。すなわち、例えば、図4における直線形状の中間部に代えて、連続して微分できる曲線形状を成しながら徐々に狭まる中間部を設けてもよい。

また、図4のように、信号電極2の輪郭が角を有するようにはせず、信号電極2の基本幅 $W_{hot}$ を有する箇所から狭窄部までの信号電極2の幅を、曲線的に変化させるようにしてもよい。

【0023】

ここで、本例では、制御電極(信号電極2及び接地電極3, 4)を光導波路1と交差させる場合に、光導波路1上に制御電極を直接重ねて形成する構造とすることで、低駆動電圧を実現しているが、光導波路1形成後の基板表面に誘電体 $SiO_2$ 等のバッファ層を設け、該バッファ層の上側に制御電極を形成する構成も考えられる。この場合には、バッファ層を $3\mu m$ 以下とし、本発明を適用することで、駆動電圧の上昇を抑え、かつ、光過剰損失を低く抑えることができる。なお、バッファ層の有無およびバッファ層の厚さによって、制御電極の高周波特性は変化するが、合わせて電気光学効果を有する基板の厚さも調整することで高周波特性の最適化が可能である。特にバッファ層が無い、あるいは $0.3\mu m$ 以下の厚さの場合、該基板の厚さを数 $10\mu m$ 以下にすることで制御電極の実効屈折率を最適値に調整することが可能であり、かつ、基板厚を薄くすることに起因した、駆動電圧低減効果も同時に得られる。

【0024】

また、上記で述べてきた通り、光過剰損失は制御電極が光導波路1に対し、サブミクロンオーダー程度に近接した場合にのみ生じる。このため、例えば、基板あるいはバッファ層に接する信号電極2下部のみに狭窄部を適用し、信号電極2上部の電極幅は下部よりも広い電極形状としても良い。この場合、信号電極2下部の電極幅が交差部分の前後と比較して狭い狭窄部を有する構造であれば、本発明の効果が生じる。また、信号電極2上部の幅と信号電極2下部の幅が等しい場合と比較し、信号電極2の表面積が広く、相対的に電気信号の電界密度が疎になり、高周波伝搬損失が低減するため、本発明の効果に加えて、高周波特性の点でも有利である。

【0025】

10

20

30

40

50

次に、信号電極 2 の狭窄部の幅及び長さの要件について説明する。

以下では、信号電極 2 の狭窄部の幅及び長さとして、図 3、図 4 中に  $W_{str}$ 、 $L_{str}$  で示すように、信号電極 2 の幅が狭まった部分で且つその幅が略一定となっている部分の幅及び長さを用いる。また、信号電極 2 の狭窄部の前後の幅として、 $W_{hot}$  を用いる。一般的に  $W_{hot}$  は  $10 \sim 50 \mu\text{m}$  程度である。

光過剰損失の低減のためには、信号電極 2 の狭窄部の幅が狭く、かつ長い方が好ましいが、高周波数特性の劣化が懸念されるため、これらを適切に設定する必要がある。

【0026】

信号電極 2 の狭窄部の幅は、光過剰損失の低減の観点では、狭窄部の幅が狭いほど効果的であり、 $W_{str} / W_{hot} = 0.75$  であること、すなわち、狭窄部の幅  $W_{str}$  が交差部分の前後の基本幅  $W_{hot}$  の  $0.75$  倍以下であることが望ましい。また、製造の都合上、信号電極 2 の狭窄部の幅は  $5 \mu\text{m}$  以上であることが望ましい。

10

【0027】

信号電極 2 の狭窄部の長さは、高周波的影響が無いように、 $c / (10nf)$  以下の長さであることが望ましい。ここで、 $c$  は光速であり、 $f$  は信号周波数であり、 $n$  は進行波電極の実行屈折率である。また、光電界分布をガウシアン分布と想定すると、光導波路 1 内を伝搬する光波のモードフィールド径の  $1.5$  倍の範囲内に光エネルギーの  $99.7\%$  が入るため、信号電極 2 の狭窄部の長さは、モードフィールド径の  $1.5$  倍以上であることが望ましい。

【0028】

また、図 8 に示すように、接地電極 3 と信号電極 2 の間隔や、接地電極 4 と信号電極 2 の間隔が略一定となるように、接地電極 3、4 の間隔が信号電極 2 の狭窄部で狭まる構造とした方が、インピーダンス整合上は望ましい。しかしながら、接地電極 4 の高周波的な GND 電流が流れにくくなり、高周波特性が劣化する場合がある。この劣化を抑制するため、図 3、図 4 に示すように、接地電極 3、4 の間隔を信号電極 2 の狭窄部とその前後で略同じにする構成としてもよい。このような構成とすることで、良好な高周波数特性が得られ、しかも製造上の困難性を低く抑えることができる。このため、製造コストの抑制という観点からは接地電極 3、4 の間隔を略一定にする構造の方が好ましいといえる。

20

【0029】

次に、本発明に係る光導波路素子の高周波特性のシミュレーション結果について説明する。

30

図 5 は、伝搬特性のシミュレーション結果の例を示す図である。また、図 6 は、反射特性のシミュレーション結果の例を示す図である。

ここでは、信号電極の狭窄部の前後の幅 ( $W_{hot}$ ) を  $10 \sim 50 \mu\text{m}$  とした場合について、3次元電磁界解析シミュレータを用いて伝搬特性及び反射特性を計算した。

【0030】

図 5 及び図 6 には、信号電極 2 に下記(条件 1)～(条件 7)の狭窄部を設けた場合のシミュレーション結果を、信号電極 2 に狭窄部を設けなかった場合のシミュレーション結果 (Ref) と比較して示してある。

(条件 1)  $W_{str} / W_{hot} = 0.72$  ,  $L_{str} = 5 \mu\text{m}$

(条件 2)  $W_{str} / W_{hot} = 0.72$  ,  $L_{str} = 10 \mu\text{m}$

(条件 3)  $W_{str} / W_{hot} = 0.72$  ,  $L_{str} = 15 \mu\text{m}$

(条件 4)  $W_{str} / W_{hot} = 0.44$  ,  $L_{str} = 5 \mu\text{m}$

(条件 5)  $W_{str} / W_{hot} = 0.44$  ,  $L_{str} = 10 \mu\text{m}$

(条件 6)  $W_{str} / W_{hot} = 0.44$  ,  $L_{str} = 15 \mu\text{m}$

(条件 7)  $W_{str} / W_{hot} = 0.14$  ,  $L_{str} = 15 \mu\text{m}$

40

【0031】

図 5 に示すように、伝搬特性については、(条件 1)～(条件 7)のいずれにおいても、信号電極 2 に狭窄部を設けなかった場合と略同一であった。また、図 6 に示すように、反射特性については、(条件 1)～(条件 7)のいずれにおいても、多少のばらつきはあ

50

るものの、信号電極 2 に狭窄部を設けなかった場合と比べて劣化が見られなかった。このため、 $W_{str} / W_{hot} = 0.14 \sim 0.72$ 、 $L_{str} = 5 \sim 15 \mu\text{m}$ の範囲では、高周波特性を劣化させることなく、光過剰損失を低く抑えることが可能となることが分かる。

また、 $W_{str} / W_{hot} = 0.44$ 、 $L_{str} = 100 \mu\text{m}$ の試作品を作成して実測したところ、高周波特性に劣化が見られないことを確認できた。

#### 【0032】

ここで、これまでの説明では、信号電極 2 が光導波路 1 と垂直に交差する構造の例を示したが、信号電極 2 が光導波路 1 と斜めに交差する構造であってもよい。

図 7 は、本発明に係る光導波路素子における信号電極と光導波路の交差部分の他の例を示す図である。同図では、信号電極 2 が光導波路 1 と角度  $\theta$  で斜めに交差しており、この場合でも光過剰損失を抑制することができる。

但し、信号電極 2 と光導波路 1 とが鋭角に交差すると、交差部分の面積が大きくなって光過剰損失が増大する。このため、交差部分における光導波路 1 の中心線 L 1 と信号電極 2 の中心線 L 2 とが交差する角度  $\theta$  が、45 度以上 90 度以下であることが、光過剰損失を抑制する観点から好ましい。

また、高周波特性を確保するには、信号電極 2 の曲げ部が円弧形状であることが望ましい。しかしながら、図 9 のような信号電極 2 の円弧曲げ部の場合、信号電極 2 と光導波路 1 が垂直に交わる場合よりも、信号電極 2 と光導波路 1 の重なり面積が広がるため、本発明適用による効果が大きい。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0033】

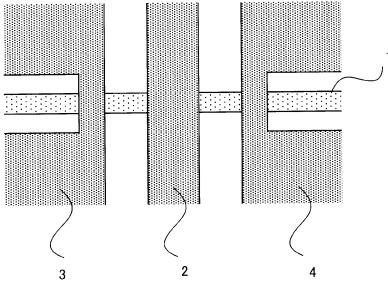
以上、説明したように、本発明によれば、光過剰損失を低く抑えることができる光導波路素子を提供することができる。

#### 【符号の説明】

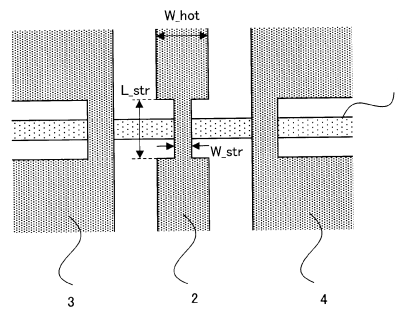
#### 【0034】

- 1 光導波路
- 2 信号電極
- 3, 4 接地電極

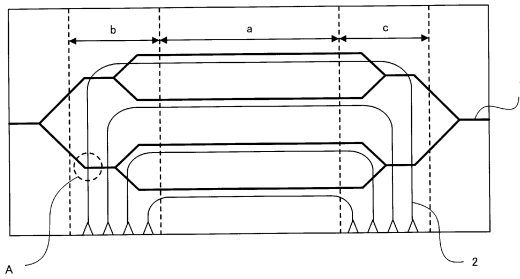
【図1】



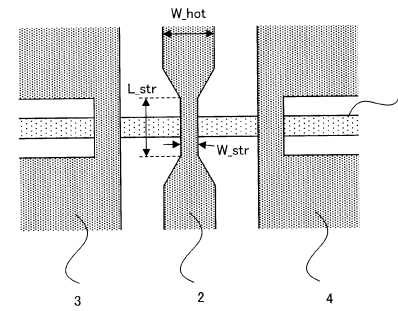
【図3】



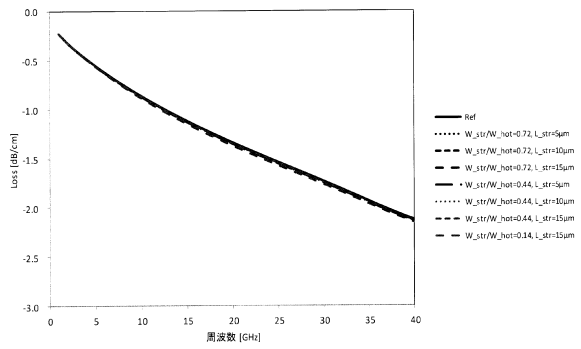
【図2】



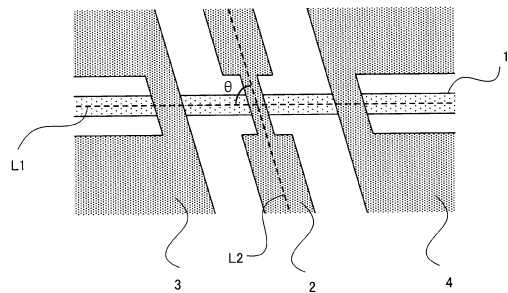
【図4】



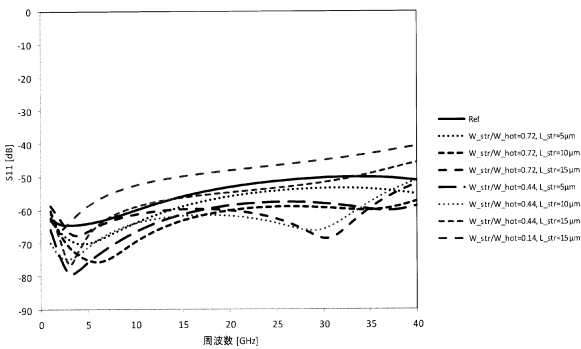
【図5】



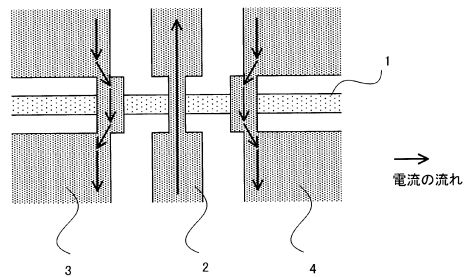
【図7】



【図6】

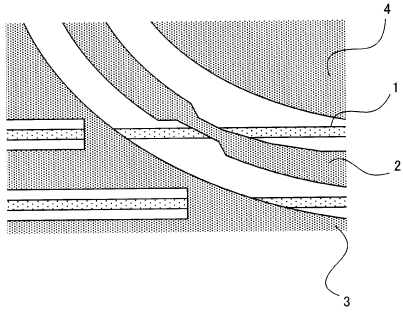


【図8】





【図9】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0123242 (US, A1)

特開2009-181108 (JP, A)

特開平11-271699 (JP, A)

特開平10-133237 (JP, A)

国際公開第2006/107000 (WO, A1)

特開2004-163859 (JP, A)

特開平05-249335 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12 - 6/14

G02F 1/00 - 1/125

1/21 - 7/00