

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3721565号

(P3721565)

(45) 発行日 平成17年11月30日(2005.11.30)

(24) 登録日 平成17年9月22日(2005.9.22)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO2F 1/01
GO2B 6/12
GO2F 1/313

GO2F 1/01 C
GO2F 1/313
GO2B 6/12 H
GO2B 6/12 F

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2004-54903 (P2004-54903)	(73) 特許権者	899000079
(22) 出願日	平成16年2月27日(2004.2.27)		学校法人慶應義塾
(65) 公開番号	特開2005-242214 (P2005-242214A)		東京都港区三田2丁目15番45号
(43) 公開日	平成17年9月8日(2005.9.8)	(74) 代理人	100110191
審査請求日	平成17年2月4日(2005.2.4)		弁理士 中村 和男
早期審査対象出願		(72) 発明者	津田 裕之
			神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1
			慶應義塾大学 理工学部内
		審査官	東 治企

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光機能導波路、光変調器、アレイ導波路回折格子及び分散補償回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、
該基板上に形成されているクラッドと、
該クラッドの中に形成されていて光路となるコアと、
光路に沿って所定の間隔を空けて光路を分断するように形成されていて前記コアとは屈折率温度係数が異なる材料が充填されている複数の溝構造と、
光路に沿って形成されている該複数の溝構造の間の位置に形成されているヒータ電極とを備えることを特徴とする光機能導波路。

【請求項2】

基板と、
該基板上に形成されているクラッドと、
該クラッドの中に形成されていて光路となるコアと、
光路に沿って所定の間隔を空けて光路を分断するように形成されていて前記コアとは異なる屈折率の材料が充填されており形状がレンズ型である複数の溝構造と、
光路に沿って形成されている該複数の溝構造の間の位置に形成されているヒータ電極とを備えることを特徴とする光機能導波路。

【請求項3】

前記複数の溝構造の内の少なくとも1つの端面が光路に垂直な位置から傾いていることを特徴とする請求項1又は2記載の光機能導波路。

10

20

【請求項 4】

請求項 1 記載の光機能導波路を備え光の振幅又は位相を変調することを特徴とする光変調器。

【請求項 5】

スラブ導波路中に請求項 2 記載の光機能導波路を備えることを特徴とするアレイ導波路回折格子。

【請求項 6】

2 つのアレイ導波路回折格子が縦列接続されている接続部近傍に請求項 2 記載の光機能導波路を備えることを特徴とする分散補償回路。

【請求項 7】

スペクトル面近傍に配置されている導波路内のミラーと、
該ミラーの近傍に配置されている請求項 2 記載の光機能導波路と
を備えることを特徴とする分散補償回路。

10

【請求項 8】

基板と、
該基板上に形成されているクラッドと、
該クラッドの中に形成されていて光路となるコアと、
光路に沿って所定の間隔を空けて光路を分断するように形成されていて前記コアとは異なる屈折率の材料が充填されており形状がくさび型である複数の溝構造と、
光路に沿って形成されている該複数の溝構造の間の位置に形成されているヒータ電極と
を備えることを特徴とする光機能導波路。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、小型、省エネで高速に光の位相制御又は光路長若しくは波面の調節ができる光機能導波路、光変調器、アレイ導波路回折格子及び分散補償回路に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の石英導波路型光変調器は、光導波路近傍にヒータを設けて石英の屈折率を温度変化させる位相変調部を干渉系に具備する構成である。この構成では、石英の屈折率温度係数が 1.1×10^{-5} [1/°C] と低いため、1.55 ミクロン帯の通信波長においての位相変化を引き起こすために 50 °C の温度変化を許容しても 970 ミクロン程度の導波路長（ヒータ長）が必要であった。温度変化に要する時間は数十 ms 必要であり、また、温度上昇に必要なエネルギーは 100 mW 以上になり、変調器間の熱的干渉によるクロストークの増大、冷却機構の大型化などの付加的な問題が生じることが課題であった。また、従来の技術で屈折率の温度係数の大きな材料を光導波路中の溝構造に充填し、変調器の消費電力を下げる事が報告されている（例えば、非特許文献 1 参照）。

30

【非特許文献 1】橋詰泰彰他 4 名著「2002 年電子情報通信学会総合大会講演論文集」、2002 年 3 月 27 日、C-3-10、P142

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、ヒータ部位置が溝構造から離れているため、スイッチング時間の速さが十分ではない。また、これらの構造の可変焦点距離の導波路型レンズへの適用及び光偏向型スイッチへの適用は行われていない。

【0004】

本発明は、上記問題点に鑑み、小型、省エネで高速に光の位相制御又は光路長の調節ができる光機能導波路、光変調器、アレイ導波路回折格子及び分散補償回路を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 5 】

本発明の光機能導波路は、基板と、該基板上に形成されているクラッドと、該クラッドの中に形成されていて光路となるコアと、光路に沿って所定の間隔を空けて光路を分断するように形成されていて前記コアとは屈折率温度係数が異なる材料が充填されている複数の溝構造と、光路に沿って形成されている該複数の溝構造の間の位置に形成されているヒータ電極とを備える。

【 0 0 0 6 】

また、本発明の光機能導波路は、基板と、該基板上に形成されているクラッドと、該クラッドの中に形成されていて光路となるコアと、光路に沿って所定の間隔を空けて光路を分断するように形成されていて前記コアとは異なる屈折率の材料が充填されており形状がレンズ型である複数の溝構造と、光路に沿って形成されている該複数の溝構造の間の位置に形成されているヒータ電極とを備える。

10

【 0 0 0 7 】

また、前記複数の溝構造の内の少なくとも1つの端面が光路に垂直な位置から傾いていることで、溝界面から導波路に結合する反射光量を抑制することができる。

【 0 0 0 8 】

また、本発明の光変調器は、上記光機能導波路を備え光の振幅又は位相を変調するものである。

【 0 0 0 9 】

また、本発明のアレイ導波路回折格子は、スラブ導波路中に上記光機能導波路を備える。

20

【 0 0 1 0 】

また、本発明の分散補償回路は、2つのアレイ導波路回折格子が縦列接続されている接続部近傍に上記光機能導波路を備える。

【 0 0 1 1 】

また、本発明の分散補償回路は、スペクトル面近傍に配置されている導波路内のミラーと、該ミラーの近傍に配置されている上記光機能導波路とを備える。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の光機能導波路は、基板と、該基板上に形成されているクラッドと、該クラッドの中に形成されていて光路となるコアと、光路に沿って所定の間隔を空けて光路を分断するように形成されていて前記コアとは異なる屈折率の材料が充填されており形状がくさび型である複数の溝構造と、光路に沿って形成されている該複数の溝構造の間の位置に形成されているヒータ電極とを備える。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明による効果は下記の通りである。

【 0 0 1 6 】

第1の効果は、小型で低消費電力、かつ、高速な光変調器等の光機能導波路を構成することが可能な点である。また、同時に付加的な問題である変調間の熱的干渉によるクロストークの低減や冷却機構の小型化も可能になる。

40

【 0 0 1 7 】

第2の効果は、レンズ形状を持つ溝構造に適用し温度制御することによって可変焦点距離の導波路型レンズが実現され、分散補償回路等、各種光機能導波路を実現可能になる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 0 】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

図1は、本発明の第1実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。図1(a)は断面図であり、図1(b)は上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、基板11、石英導波路クラッド12、石英導波路コア13、溝構造14、充填材料15、及びヒータ

50

用電極 16 からなる。この光機能導波路は光変調器用の位相変調部として機能する。溝構造 14 に充填される充填材料 15 は、導波する光の波長領域で透明な材料であり、石英導波路コア 13 とは異なる材料又は異なる組成の材料で実現され、PMMA (ポリメチルメタクリレート)、ポリイミド、エポキシ樹脂、シリコン樹脂等が適当である。また、これらの材料の水素をフッ素で置換した有機材料でも良い。これらの材料の屈折率温度係数は、一般に、石英の 10 倍 ~ 100 倍程度である。石英の屈折率温度係数は 1.1×10^{-5} [1/°C] と低いため、1.55 ミクロン帯の通信波長においての位相変化を引き起こすために 50 °C の温度変化を許容しても 970 ミクロン程度の導波路長 (ヒータ長) が必要である。充填する材料の屈折率温度係数が石英の 50 倍であると仮定し、温度変化を 10 °C とすれば、溝形成部の長さは 184.3 ミクロンで良い。例えば、光導波路の実効屈折率を 1.45、溝幅を平均 9.7 ミクロン、溝間隔を平均 9.7 ミクロン、溝数を 10、屈折率変化量を $\pm 2.75 \times 10^{-3}$ とすれば、各面で導波路外に反射されることに起因する損失は、0.00008 dB であり無視できる。また、界面で放射モードに結合することに起因する損失は約 0.5 dB である。本実施の形態ではヒータ用電極 16 が、光路に沿って形成されている複数の溝構造 14 の間に形成されているために、充填材料 15 の温度を少ないエネルギーで高速に大きく変化させることができる。溝構造 14 の光伝搬方向の溝幅は、通常 3 ~ 20 ミクロン程度に設定されるが、損失を下げるためには狭い方がよい。また、溝構造 14 相互の間隔は 3 ~ 100 ミクロン程度に設定される。溝幅及び溝間隔は界面で反射する光によって微小共振構造が形成されにくいように、ランダムに変化させることが望ましい。

10

20

【0022】

図 2 は、本発明の第 2 実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。図 2 (a) は断面図であり、図 2 (b) は上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、上から見たときに石英導波路コア 13 によって形成される光路の方向に対して溝構造 14 を傾けて配置するものである。これによって、溝界面から導波路に結合する反射光量を抑制することができる。

【0023】

図 3 は、本発明の第 3 実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。図 3 (a) は断面図であり、図 3 (b) は上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、上から見たときに溝構造 14 の形を台形にするものである。これによって、やはり溝界面から導波路に結合する反射光量を抑制することができる。

30

【0024】

図 4 は、本発明の第 4 実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。図 4 (a) は断面図であり、図 4 (b) は上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、横から見たときに (すなわち、光路に沿った断面図を見たときに) 溝構造 14 の形を台形にするものである。これによって、やはり溝界面から導波路に結合する反射光量を抑制することができる。

【0025】

図 5 は、本発明の第 5 実施の形態による光機能導波路の構成を示す上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、製造時に溝構造 14 に充填材料 15 を注ぎ込むための充填物注ぎ込み口 17 を設けるものである。このように充填物注ぎ込み口 17 を光路に対して両側に設けて光路に対して両側から交互に充填材料 15 を注ぎ込む構成にすることでヒータ用電極 16 を溝構造 14 と重ならず連続的に配置することができる。なお、溝構造 14 の上面は平坦ではないためヒータ用電極 16 を溝構造 14 と重ねて配置することは困難である。

40

【0026】

図 6 は、本発明の第 6 実施の形態による光変調器の構成を示す図である。本実施の形態の光変調器は、マッハツェンダー干渉型変調器であり、方向性結合部 21、位相変調部 22、及び光導波路 23 からなる。位相変調部 22 には、第 1 ~ 第 5 実施の形態による光機能導波路を用いる。温度変化が $1/5$ (= 10 / 50) になるのでスイッチング時間

50

は数分の一に短縮される。また、消費電力は、加熱部分長が約 $1/5$ (184.3 ミクロン / 970 ミクロン) になることもあって、 $1/20$ 以下に低減される。

【0027】

図7は、本発明の第7実施の形態による光変調器の構成を示す図である。本実施の形態の光変調器は、他のタイプのマッハツェンダー干渉型変調器であり、位相変調部22、光導波路23、及びY分岐24からなる。位相変調部22には、第1～第5実施の形態による光機能導波路を用いる。本実施の形態も第6実施の形態と同様の効果がある。

【0028】

図8は、本発明の第8実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。図8(a)は断面図であり、図8(b)は上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、基板11、石英導波路クラッド12、石英導波路コア13、ヒータ用電極16、溝構造31、充填材料32、並びに石英導波路クラッド12及び石英導波路コア13による石英スラブ導波路33からなる。この光機能導波路は、単一モード導波路ではなくスラブ導波路用の位相変調部として機能する。基板11の温度を制御し、充填材料32の屈折率を制御する。石英導波路クラッド12及び石英導波路コア13の屈折率も変化するが、充填材料32に比較して変化量が僅かであるため通常は無視することが可能である。ある温度で、石英スラブ導波路33の実効屈折率と充填材料32の屈折率が同じであれば、石英スラブ導波路33を伝搬する光に対してほとんど影響を及ぼさないが、温度を上昇又は下降させると充填材料32の屈折率が相対的に増加又は減少し、凸レンズ作用又は凹レンズ作用を伝搬光に及ぼす。もちろん、充填材料32の屈折率の温度係数が負であれば、凹レンズ作用又は凸レンズ作用を及ぼす。また、焦点距離も温度によって制御可能である。これにより、充填材料の温度を制御することによって、スラブ導波路中を伝搬する光の波面を制御できる。すなわち、伝搬光の広がり角を制御することができる。制御範囲は溝構造31の数を増減させて設計可能である。特に、反射光や共振特性を避ける必要があれば、第2～4実施の形態と同様に、境界面を光軸に対して傾けることによってかなりの程度まで避けることが可能である。ただし、本実施の形態では上面図における境界面は曲線となるのでこれを傾けても効果的ではなく、断面図において境界面を示す直線を傾けることになる。

【0029】

図9は、本発明の第9実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。図9(a)は断面図であり、図9(b)は上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、基板11、石英導波路クラッド12、石英導波路コア13、ヒータ用電極16、溝構造41、充填材料42、並びに石英導波路クラッド12及び石英導波路コア13による石英スラブ導波路33からなる。本実施の形態では溝構造41の形状を凹レンズ状にした。この場合は、温度に対するレンズ作用や焦点距離の変化が凸レンズ状の場合の反対になる。

【0030】

また、平凸レンズ型、平凹レンズ型、及びメニスカスレンズ型など、更に、これらの球面レンズ型、非球面レンズ型、及び場合によっては球面と非球面とを組み合わせたレンズ型などを採用しても良いことは言うまでもない。また、これらのレンズ構造を複数組み合わせても良いことは言うまでもない。

【0031】

図10は、本発明の第10実施の形態による光機能導波路の構成を示す上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、石英スラブ導波路33に溝構造51及び充填材料52を二次元並列に配置するものである。ここではヒータ電極の図示を省略している。

【0032】

図11は、本発明の第11実施の形態による分散補償回路の構成を示す上面図である。本実施の形態の分散補償回路は、第1アレイ導波路回折格子61及び第2アレイ導波路回折格子65からなり、さらに具体的には、スラブ導波路62、アレイ導波路63、スラブ導波路64、アレイ導波路66、スラブ導波路67、溝構造68、及び充填材料69からなる。ここでは平凸レンズ形状の溝構造68をスペクトル面近傍に配置する。第1アレイ導波路回折格子61に入射した光がスペクトル面上に分光される。スペクトル面が丁度平

10

20

30

40

50

面になるとき分散補償回路の分散は0になる。溝構造68の形状、個数、を変えることによって分散値を所望の値に設定することが可能である。また、基板全体の温度を制御して分散量を可変することも可能である。もちろん、溝構造68の部分のみ局所的に加熱して制御しても良いことは言うまでもない。設定可能な分散量は、第1、第2アレイ導波路回折格子61、65の設計パラメータで変化するが、アレイ導波路63及びアレイ導波路66における最小光路長と最大光路長の差に対応する時間窓幅が入射光パルス及び出射光パルスの立ち上がり時間及び立ち下がり時間よりも広く、第1、第2アレイ導波路回折格子61、65のフリースペクトラルレンジが光信号のスペクトル幅よりも広い条件から決定される。

【0033】

10

図12は、本発明の第12実施の形態による分散補償回路の構成を示す上面図である。本実施の形態の分散補償回路は、第11実施の形態と同様の特性を反射型構成で得るものであり、1つのアレイ導波路回折格子71からなり、具体的には、スラブ導波路72、アレイ導波路73、スラブ導波路74、ミラー75、溝構造76、及び充填材料77からなる。ミラー75の形状は直線状でも良いが、通常は温度変化無しの場合の分散値を制御するために適当な曲率を持つ円形ミラーを利用する。本実施の形態は第11実施の形態と比べて損失は増えるがデバイスは小型化され、ミラー曲率によって初期分散値を設定可能となる。

【0036】

図13は、本発明の第13実施の形態による光機能導波路の構成を示す上面図である。本実施の形態の光機能導波路は、ヒータ用電極16、単一モード入力導波路101、テーパー導波路102、スラブ導波路103、第1単一モード出力導波路104a、第2単一モード出力導波路104b、くさび型、すなわち、台形の溝構造105及び充填材料106からなる。このくさび型の溝構造105はそのくさび型の方向を揃えて配置する。このため本実施の形態は、充填材料106の温度制御により光の導波方向を変化させることによって実現される1×2光スイッチである。温度制御によって、単一モード入力導波路101に入射した光を第1単一モード出力導波路104a又は第2単一モード出力導波路104bの何れから出力するか切り替えることが可能である。出力導波路数を増やすことができることは言うまでもない。出力導波路の位置を遠ざければ、角度変化が僅かで済むので、必要な温度変化量を減らすことが可能である。また、1×2スイッチを組み合わせて2

20

30

【0037】

なお、本発明は上記実施の形態に限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】本発明の第1実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。

【図2】本発明の第2実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。

【図3】本発明の第3実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。

【図4】本発明の第4実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。

【図5】本発明の第5実施の形態による光機能導波路の構成を示す上面図である。

40

【図6】本発明の第6実施の形態による光変調器の構成を示す図である。

【図7】本発明の第7実施の形態による光変調器の構成を示す図である。

【図8】本発明の第8実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。

【図9】本発明の第9実施の形態による光機能導波路の構成を示す図である。

【図10】本発明の第10実施の形態による光機能導波路の構成を示す上面図である。

【図11】本発明の第11実施の形態による分散補償回路の構成を示す上面図である。

【図12】本発明の第12実施の形態による分散補償回路の構成を示す上面図である。

【図13】本発明の第13実施の形態による光機能導波路の構成を示す上面図である。

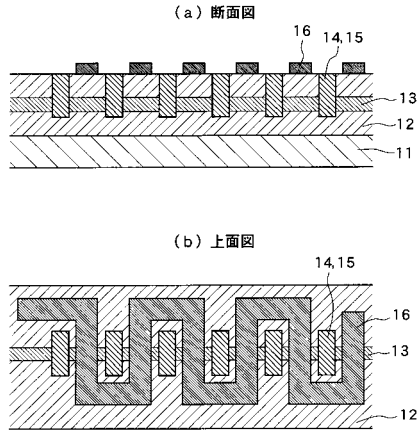
【符号の説明】

【0039】

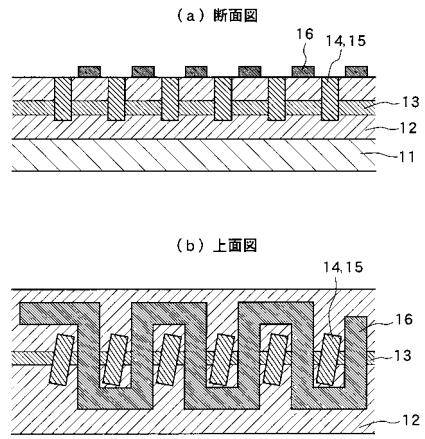
50

1 1	基板	
1 2	石英導波路クラッド	
1 3	石英導波路コア	
1 4	溝構造	
1 5	充填材料	
1 6	ヒータ用電極	
1 7	充填物注ぎ込み口	
2 1	方向性結合部	
2 2	位相変調部	
2 3	光導波路	10
2 4	Y分岐	
3 1	溝構造	
3 2	充填材料	
3 3	スラブ導波路	
3 3	石英スラブ導波路	
4 1	溝構造	
4 2	充填材料	
5 1	溝構造	
5 2	充填材料	
6 1	第1アレイ導波路回折格子	20
6 2	スラブ導波路	
6 3	アレイ導波路	
6 4	スラブ導波路	
6 5	第2アレイ導波路回折格子	
6 6	アレイ導波路	
6 7	スラブ導波路	
6 8	溝構造	
6 9	充填材料	
7 1	アレイ導波路回折格子	
7 2	スラブ導波路	30
7 3	アレイ導波路	
7 4	スラブ導波路	
7 5	ミラー	
7 6	溝構造	
7 7	充填材料	
8 1	第1溝構造	
8 2	第2溝構造	
8 3	第3溝構造	
9 1	単一モード導波路	
9 2	テーパ導波路	40
9 3	スラブ導波路	
9 4	溝構造	
1 0 1	単一モード入力導波路	
1 0 2	テーパ導波路	
1 0 3	スラブ導波路	
1 0 4	単一モード出力導波路	
1 0 5	溝構造	
1 0 6	充填材料	

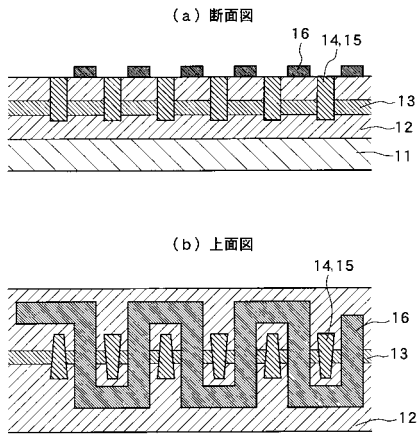
【 図 1 】



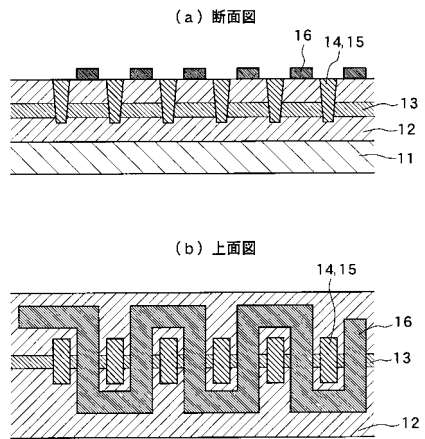
【 図 2 】



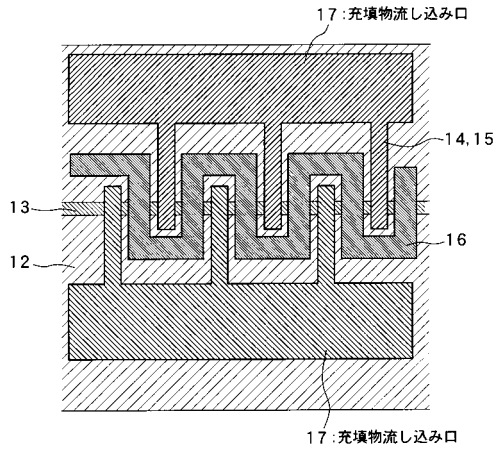
【 図 3 】



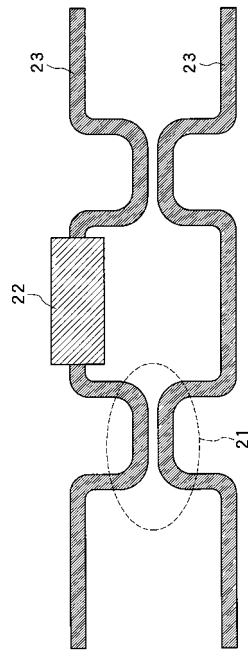
【 図 4 】



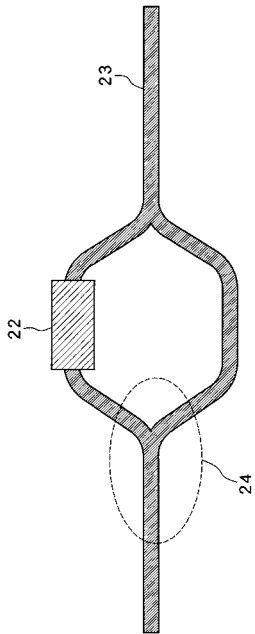
【 図 5 】



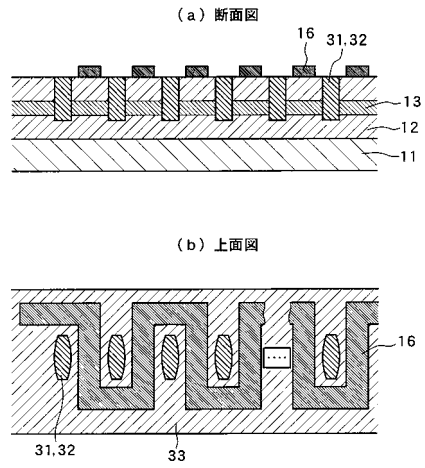
【 図 6 】



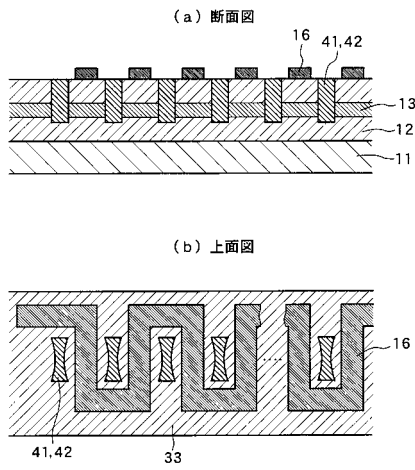
【 図 7 】



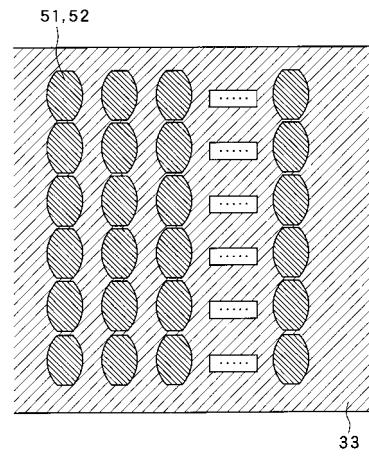
【 図 8 】



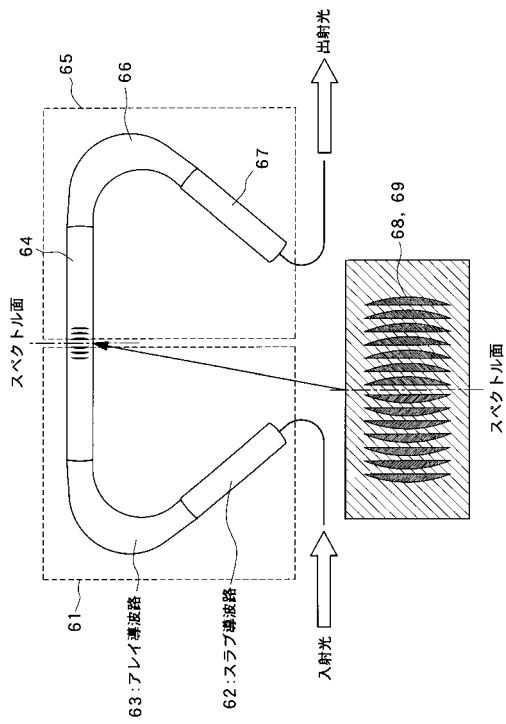
【 図 9 】



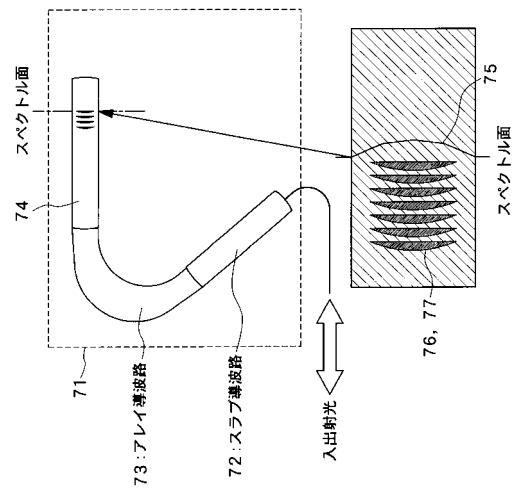
【 図 10 】



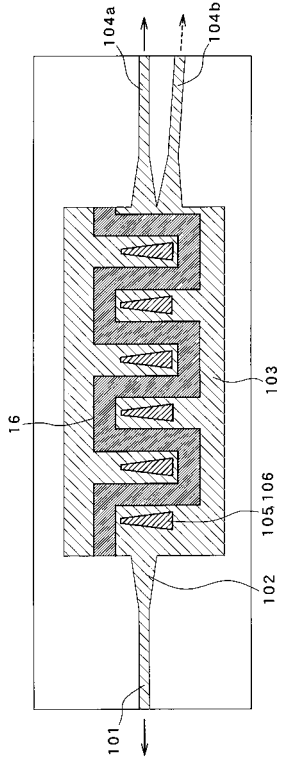
【 図 11 】



【 図 12 】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-29079(JP,A)
特開平10-239645(JP,A)
特開平5-289117(JP,A)
特開2004-45747(JP,A)
特開2001-116937(JP,A)
特開平7-318994(JP,A)
特開2001-272561(JP,A)
特開平11-167035(JP,A)
特開平9-152522(JP,A)
特開2003-279910(JP,A)
特開2003-167221(JP,A)
特開2003-84319(JP,A)
特開平1-248141(JP,A)
特開2003-98559(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G02F 1/01
G02B 6/12
G02B 6/12
G02F 1/313
JICSTファイル(JOIS)