

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7619060号
(P7619060)

(45)発行日 令和7年1月22日(2025.1.22)

(24)登録日 令和7年1月14日(2025.1.14)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 F 1/035(2006.01)

G 0 2 F 1/035

G 0 2 F 1/01 (2006.01)

G 0 2 F 1/01

F

請求項の数 7 (全11頁)

(21)出願番号	特願2021-13606(P2021-13606)	(73)特許権者	000183266
(22)出願日	令和3年1月29日(2021.1.29)		住友大阪セメント株式会社
(65)公開番号	特開2022-117099(P2022-117099		東京都港区東新橋一丁目9番2号
	A)	(74)代理人	100116687
(43)公開日	令和4年8月10日(2022.8.10)		弁理士 田村 爾
審査請求日	令和5年8月24日(2023.8.24)	(74)代理人	100098383
			弁理士 杉村 純子
		(74)代理人	100155860
			弁理士 藤松 正雄
		(72)発明者	一明 秀樹
			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	篠崎 稔
			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
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 光変調器とそれを用いた光送信装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

1つの光波を2つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板と、

該制御電極に印加される変調信号を中継する配線を設けた配線基板を備えた光変調器において、

該制御電極が信号電極及び該信号電極を挟む接地電極とを備え、

該配線が信号配線と接地配線とを備え、

該信号電極と該信号配線とを電氣的に接続する部分においては、該信号電極は前記2つに分岐した該分岐導波路に挟まれており、該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔は、該制御電極が該分岐導波路に電界を印加する作用部分における前記2つの分岐した該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔よりも広くなっており、

該変調信号の進行方向に対し、該接地電極と該接地配線とが先に電氣的に接続され、その後方側で、該信号電極と該信号配線とが電氣的に接続されていることを特徴とする光変調器。

【請求項2】

1つの光波を2つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板と、

該制御電極に印加される変調信号を終端する配線を設けた配線基板を備えた光変調器において、

該制御電極が信号電極及び該信号電極を挟む接地電極とを備え、

該配線が信号配線と接地配線とを備え、

該信号電極と該信号配線とを電氣的に接続する部分においては、該信号電極は前記 2 つに分岐した該分岐導波路に挟まれており、該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔は、該制御電極が該分岐導波路に電界を印加する作用部分における前記 2 つの分岐した該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔よりも広くなっており、

該変調信号の進行方向に対し、該信号電極と該信号配線とが先に電氣的に接続され、その後方側で、該接地電極と該接地配線とが電氣的に接続されていることを特徴とする光変調器。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の光変調器において、該配線基板には、該変調信号を中継する配線と該変調信号を終端する配線とが、共に形成されていることを特徴とする光変調器。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光変調器において、前記電氣的に接続する部分では、フリップチップ接続を用いて電氣的接続が行われていることを特徴とする光変調器。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光変調器において、該光導波路は、凸部の高さが 1 μm 以下の薄板のリブ構造で形成されていることを特徴とする光変調器。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の光変調器において、該光制御基板に隣接して該制御電極に印加する電気信号を発生するドライバ回路素子が配置され、該ドライバ回路素子の出力端子は、該配線基板の配線に接続されていることを特徴とする光変調器。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の光変調器と、該ドライバ回路素子に入力する変調信号を生成する信号発生器とを備えることを特徴とする光送信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光変調器とそれを用いた光送信装置に関し、特に、1 つの光波を 2 つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板と、該制御電極に印加される電気信号を中継する配線を設けた配線基板とを備えた光変調器に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信分野や光計測分野において、光導波路と該光導波路を伝搬する光波を制御する制御電極とを有する光制御基板を利用した光変調器が多用されている。近年の光変調器には広帯域化や小型化が求められており、例えば、一つの光変調器に複数の異なる高周波信号を同時に印加することが行われている。

【0003】

さらに、変調電極を含む各制御電極への電気信号の印加には、電気配線の取り回しを簡潔にするため、中継基板が利用されている。図 1 や特許文献 1 に示すように、中継基板 2 から光制御基板 1 への電氣的接続には、配線のし易さの関係から、専らワイヤーボンディング WB が採用されている。しかしながら、96GBaud - 800G 変調器などように、数十GHz 以上、特に、100GHz を超える周波数の光変調器においては、ワイヤーボンディングは、電気信号の伝搬損失が大きくなる。

【0004】

また、図 1 に示すように、複数の制御電極 (S1 ~ S4) を使用する場合は、中継基板が配置された光制御基板の側辺の近傍に配置された各入力ポートから各制御電極の作用部 (図 1 の一点鎖線の左側、矢印 A で示す範囲) に到達するまでの配線の長さが異なり、各制御電極 (各ポート) 間で電気特性の差が発生する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

図 2 では、光変調器の小型化を図るため、光入出力 (L i n , L o u t 1 , L o u t 2) 部を光制御基板 1 の同じ側面に設けることが行われている。このような光変調器においても、入力される電気信号 S i n については、各入力ポートから各制御電極 (S 1 ~ S 4) の作用部 (矢印 A で示す部分) までの範囲が、各制御電極間で異なり、図 1 と同様に、電気特性の差が発生する。図 2 では、信号電極 S のみ点線で示している。符号 P D は、光導波路 O W の合波部から放出される放射光の一部を検出するための光検出手段である。

【 0 0 0 6 】

中継基板を光制御基板の側辺に沿って配置するには、中継基板を配置するスペースを別途確保する必要がある。光制御基板等を収容する筐体を小型化することが難しくなる。しかも、中継基板には、インピーダンス調整のための経路設計にスペースも必要となり、より小型化を困難にしている。

10

【 0 0 0 7 】

これらの不具合を解消する方法として、特許文献 2 では、光制御基板に重なるように配線基板を配置する構造も提案されている。しかしながら、配線基板と光制御基板との電気的接続においては、配線基板と制御電極、特に変調信号に係る信号配線と信号電極との電気的接続が十分に確保することが難しくなっている。つまり、図 2 に示すように、光変調器の小型化のため、光導波路を急激に曲げる場合には、光導波路による光波の閉じ込めを強くするため、光導波路の幅や厚みを $1 \mu\text{m}$ 程度以下に設定した薄板リブ構造が提案されている。このため、光導波路を挟むよう信号電極や接地電極を配置する電極間の間隔は益々狭くなり、信号電極自体の幅も極めて狭くなり、配線基板の信号配線と信号電極との接続部分の面積を十分に確保することが難しい。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 文献 】 特許第 5 4 9 4 7 0 4 号公報

【 文献 】 特開 2 0 1 4 - 1 9 1 2 5 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

30

本発明が解決しようとする課題は、上述したような問題を解決し、光制御基板の作用部における信号電極の幅が狭くなった場合でも、信号電極と配線基板の信号配線との間の電気的接続を確実に行うことが可能な光変調器を提供することである。また、これらの光変調器を用いた光伝送装置を提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

上記課題を解決するため、本発明の光変調器及び光送信装置は、以下のような技術的特徴を有する。

(1) 1 つの光波を 2 つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板と、該制御電極に印加される変調信号を中継する配線を設けた配線基板とを備えた光変調器において、該制御電極が信号電極及び該信号電極を挟む接地電極とを備え、該配線が信号配線と接地配線とを備え、該信号電極と該信号配線とを電気的に接続する部分においては、該信号電極は前記 2 つに分岐した該分岐導波路に挟まれており、該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔は、該制御電極が該分岐導波路に電界を印加する作用部分における前記 2 つの分岐した該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔よりも広くなっており、該変調信号の進行方向に対し、該接地電極と該接地配線とが先に電気的に接続され、その後方側で、該信号電極と該信号配線とが電気的に接続されていることを特徴とする。

40

(2) 1 つの光波を 2 つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板と、該制御電極に印加される

50

変調信号を終端する配線を設けた配線基板を備えた光変調器において、該制御電極が信号電極及び該信号電極を挟む接地電極とを備え、該配線が信号配線と接地配線とを備え、該信号電極と該信号配線とを電氣的に接続する部分においては、該信号電極は前記2つに分岐した該分岐導波路に挟まれており、該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔は、該制御電極が該分岐導波路に電界を印加する作用部分における前記2つの分岐した該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔よりも広がっており、該変調信号の進行方向に対し、該信号電極と該信号配線とが先に電氣的に接続され、その後方側で、該接地電極と該接地配線とが電氣的に接続されていることを特徴とする。

【0011】

(3) 上記(1)又は(2)に記載の光変調器において、該配線基板には、該変調信号を中継する配線と該変調信号を終端する配線とが、共に形成されていることを特徴とする。

10

【0012】

(4) 上記(1)乃至(3)のいずれかに記載の光変調器において、前記電氣的に接続する部分では、フリップチップ接続を用いて電氣的接続が行われていることを特徴とする。

【0013】

(5) 上記(1)乃至(4)のいずれかに記載の光変調器において、該光導波路は、凸部の高さが1 μ m以下の薄板のリブ構造で形成されていることを特徴とする。

【0014】

(6) 上記(1)に記載の光変調器において、該光制御基板に隣接して該制御電極に印加する電気信号を発生するドライバ回路素子が配置され、該ドライバ回路素子の出力端子は、該配線基板の配線に接続されていることを特徴とする。

20

【0015】

(7) 上記(6)に記載の光変調器と、該ドライバ回路素子に入力する変調信号を生成する信号発生器とを備えることを特徴とする光送信装置である。

【発明の効果】

【0016】

本発明により、1つの光波を2つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板と、該制御電極に印加される電気信号を中継する配線を設けた配線基板とを備えた光変調器において、該制御電極が信号電極を備え、該配線が信号配線を備え、該信号電極と該信号配線とを電氣的に接続する部分においては、該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔は、該制御電極が該分岐導波路に電界を印加する作用部分における該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔よりも広がっているため、信号電極と信号配線とを電氣的に接続する部分における信号電極の幅を十分に確保することができ、両者の電氣的接続を確実に行うことが可能となる。

30

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】従来の光変調器の一例を示す図である。

【図2】従来の光変調器の他の一例を示す図である。

【図3】本発明に係る光変調器の一例を示す図である。

【図4】図3の制御電極における電気信号を入力する部分Scの拡大図である。

40

【図5】図3の光変調器の光制御基板1に配線基板(中継基板)20を重ね合わせた状態を示す図である。

【図6】図5の信号電極と配線基板との電氣的接続の状況を示す断面図である

【図7】本発明に係る光変調器の他の一例を示す図である。

【図8】図7の光変調器の光制御基板1に配線基板(中継基板)20と配線基板(終端基板)21とを重ね合わせた状態を示す図である。

【図9】本発明に係る光送信装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明について好適例を用いて詳細に説明する。

50

本発明は、図 3 乃至 8 に示すように、1 つの光波を 2 つに分岐する分岐導波路を少なくとも含む光導波路 OW と、該分岐導波路に電界を印加するための制御電極とを有する光制御基板 1 と、該制御電極に印加される電気信号を中継する配線又は該電気信号を終端する配線を設けた配線基板 (20, 21) とを備えた光変調器において、該制御電極が信号電極 S を備え、該配線が信号配線を備え、図 4 に示すように、該信号電極と該信号配線とを電氣的に接続する部分 (信号電極側は Sc) においては、該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔 W1 は、該制御電極が該分岐導波路に電界を印加する作用部分 (符号 A) における該分岐導波路が該信号電極を挟む間隔 W2 よりも広がっていることを特徴とする。

【0019】

図 3 は、本発明に係る光変調器を構成する光制御基板 1 を示す図であり、光制御基板 1 には、光導波路 OW と制御電極 (信号電極 S, 接地電極は不図示) が形成されている。図 4 は、図 3 の信号電極 S の電気信号を入力する部分の拡大図である。さらに、図 5 は、図 4 の光制御基板 1 に電気信号の中継を行う線路を備えた配線基板 (中継基板 20) を重ねて配置した様子を示したものである。また、図 6 は、図 5 における一点鎖線 B - B' における断面図の一部を示したものである。

【0020】

光導波路 OW を含む光制御基板 1 として、ニオブ酸リチウム (LN) やタンタル酸リチウム (LT)、PLZT (ジルコン酸チタン酸鉛ランタン) などの電気光学効果を有する強誘電体基板を用いることも可能であるが、補強基板上にこれらの材料による気相成長膜を形成したものを利用することも可能である。さらに、InP などの半導体材料や有機材料など種々の材料を利用した基板も利用可能である。補強基板には、石英、水晶等が利用できる。

【0021】

光導波路の形成方法としては、図 6 に示すように、光導波路 (OW1, OW2) 以外の基板表面をエッチングしたり、光導波路の両側に溝を形成するなど、基板に光導波路に対応する部分を凸状としたリブ型光導波路を利用することが可能である。さらに、リブ型光導波路の形成に併せて、Tiなどを熱拡散法やプロトン交換法などで基板表面に高屈折率部分を形成するなど、複合的な光導波路を利用することも可能である。

【0022】

光導波路を形成した基板 100 の厚さは、変調信号のマイクロ波と光波との速度整合を図るため、5 μm 以下、より好ましくは 3 μm 以下の薄板で構成される。薄板を形成するには、補強基板 110 に基板 100 を直接接合で貼り付けた状態で薄く研磨する方法や、補強基板 110 上に基板 100 を気相成長膜として形成する方法がある。リブ型光導波路 (OW1, OW2) の高さは、2 μm 以下、より好ましくは 1 μm 以下に設定される。

【0023】

光導波路 (OW1, OW2) に電界を印加する制御電極には、変調信号のようなマイクロ波の電気信号を伝搬する信号電極と接地電極の組合せや、DC バイアス電圧を印加するバイアス用電極などがある。光導波路に沿って制御電極を形成する方法としては、Au や Ti などの下地金属の上にメッキ法により Au を積層することで構成することができる。

【0024】

図 6 に示すように、光導波路 (OW1, OW2) において、凸部の高さが 1 μm 以下の薄板のリブ構造を有する場合には、制御電極、特に、信号電極 S と接地電極 GND による変調電極は、光導波路に効率的電界を印加する構造と、電気信号と光波との伝搬速度の整合を図り、電気信号の伝搬損失を低減するための構造を考慮する必要がある。このため、信号電極 S と接地電極 GND には、各々に、下部電極部分 (Slp と Glp) を設け、光導波路 (OW1, OW2) に近接して、これらの下部電極部分を配置している。また、下部電極部分 (Slp と Glp) の上側には下部電極部分よりも幅の狭い上部電極部分 (Sup と Gup) を配置し、信号電極 S と接地電極 GND との間隔を離すと共に、例えば、上部電極部分の高さを数十 μm 以上とするように、信号電極等における十分な断面積を確保している。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

図 3 は、本発明の光変調器に使用される光制御基板 1 の一例を示す平面図である。光導波路 O W は、入力光 L i n を 3 段階の分岐部を経て、8 つの分岐導波路を形成すると共に、その後、2 段階の合波部を経て、最終的に 2 つの出力光 (L o u t 1 , L o u t 2) を出射するよう構成されている。

【 0 0 2 6 】

点線枠の D C 1 と D C 2 は、バイアス制御を行うための D C バイアス電極が配置される領域を示している。符号 C は光導波路を曲げる領域であり、光導波路の高さや幅を $1 \mu\text{m}$ 以下に設定することで、光の閉じ込めを強くし、曲率半径を小さくすること可能となる。点線枠 A の領域は、光導波路 (分岐導波路) に制御電極 (変調電極) で電界を印加する作用部分を示している。P D は出力光 (L o u t 1 , L o u t 2) の出射前の一部を受光する受光素子である。このような受光素子に代え、当業者において周知の技術である合波部における放射モード光を受光するよう受光素子を配置することも可能である。

10

【 0 0 2 7 】

図 3 では制御電極の中の信号電極 S のみしか明示していない。信号電極 S の入力部分 S c は、図 4 に拡大図を示すように、作用部分の信号電極の幅よりも太い部分で構成されている。これは、後述するようにフリップチップ接続を行う際の、信号電極側の接続部分として機能する。図 4 に示すように、信号電極 S の電氣的接続部分 S c の幅が広くなるのと、それに合わせて分岐導波路 (O W) の間隔も広くなる。このため、信号電極の接続部分は S c において、分岐導波路 (O W) が信号電極 S を挟む間隔 W 1 は、作用部分 A における該分岐導波路が信号電極 S を挟む間隔 W 2 よりも広くなる。このように、光導波路を急激に曲げることができるのは、上述したように光導波路の光を閉じ込めが強いためでもある。

20

【 0 0 2 8 】

図 4 では、信号電極 S を挟むように接地電極 G N D も明示している。信号電極と同様に接地電極においても、配線基板の配線 (接地配線) との電氣的接続を行う必要があり、図 4 では、点線 G c に接地電極の接続部分を明示している。一般的に、変調信号の進行方向に対して、接地電極を先に接続し、その後、信号電極を接続する方が、より安定的に電気信号の移動を可能にすることができる。さらに好ましくは、変調信号の進行方向の前後で信号電極の接続部分を挟むように、接地電極の接続部分を複数 (例えば 4 か所) 設けることも可能である。L 1 は分岐導波路に入力する光であり、L 2 は分岐導波路を伝搬する光である。

30

【 0 0 2 9 】

信号電極 S の入力部分 S c は、作用部分の信号電極の幅よりも太い部分で構成されているが、更に、厚さが厚くても良い (例えば厚さ $5 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$) 。厚さを厚くすることにより、フリップチップ接続を行う際の信号電極の破断や剥がれを防止し、接続強度を高めることができる。

【 0 0 3 0 】

フリップチップ接続を行うことにより、ワイヤーボンディング接続と比べ電気信号の伝搬損失を改善することができる。又、フリップ接続を行うことにより、複数の信号電極の配線の長さがある程度一緒にすることができるので、各制御電極間での電気特性の差を低減することができる。

40

【 0 0 3 1 】

信号電極 S への電気信号の入力には、図 5 に示すような配線基板 (中継基板) 2 0 が利用される。配線基板 2 0 は光制御基板 1 に重なるように配置され、光制御基板を収容する筐体自体のサイズを小型化している。配線基板 2 0 に一例としては、配線基板 2 0 の一側辺に沿って入力用パッド部 2 0 P が形成され、該入力用パッド部 2 0 P は、配線基板 2 0 の下面 (光制御基板側の面) に配置された配線 2 0 L に電氣的に接続されている。配線 2 0 L は、信号配線と接地配線を含み、配線 2 0 L の他端は、フリップチップ接続部分 F C で、図 3 又は図 4 に示した信号電極の接続部分 S c 及び接地電極の接続部分 G c に電氣的

50

に接続されている。図 6 は信号電極 S におけるフリップチップ接続部分 F C による配線基板 20 側（信号配線は不図示）との接続の様子を示している。フリップチップ接続のサイズは、例えば、幅が 30 ~ 60 μm 程度であり、信号電極の接続部分の幅もこれに対応して 30 ~ 80 μm 程度に設定される。

【0032】

図 3 の信号電極 S の構成は、作用部分 A を経た後は、図 2 の従来例と同様に、光制御基板 1 の側辺に沿って配置される出力パッド部分に接続され、外部に電気信号（変調信号）を出力（S o u t）するように構成されている。これに対し、図 7 及び図 8 では、信号電極の出力側の端部にも作用部分よりも太い部分（接続部分 S c 2）を形成し、配線基板（終端基板）21 に直接、電氣的に接続するよう構成することも可能である。図 7 は図 3 の変形例であり、図 8 は図 5 の変形例となる。

10

【0033】

図 8 の符号 21 は終端基板であり、終端基板には、信号電極と接続される出力用パッド部 21 P S が形成されている。また、接地電極に対して接続される出力用パッド部 21 P G も、設けることが可能である。信号電極 S の出力側では、一般的に、変調信号の進行方向に対して、信号電極を先に接続し、その後、接地電極を接続する方が、信号電極からの変調信号の放射を抑制することができる。さらに好ましくは、変調信号の進行方向の前後で信号電極の接続部分を挟むように、接地電極の接続部分を複数（例えば 4 か所）設けることも可能である。終端基板 21 には、終端抵抗等の終端素子 T E が設けられ、出力用パッド部（21 P S , 21 P G）と電氣的に接続されている。

20

【0034】

図 8 では、終端基板 21 は、中継基板 20 とは別に設けられているが、両者を一体化した配線基板として形成することも可能である。当然、本発明の光変調器においては、中継基板は、従来通りとし、終端基板のみ図 8 のように光制御基板 1 に重ねて配置するよう構成することも可能である。また、配線基板に近接して受光素子 P D が配置される場合は、配線基板（20 , 21）と受光素子 P D とが重ならないように、配線基板の形状及び受光素子の配置を設定することが好ましい。受光素子 P D は、光導波路 O W の合波部からの放射光を検出するだけでなく、光導波路 O W を伝搬する光波の一部を分岐させて検出するよう構成することも可能である。

【0035】

30

図 9 は、光送信装置の一例を示す図である。

光変調器において、光制御基板 1 に隣接して制御電極に印加する電気信号を発生するドライバ回路素子 D R V が配置され、該ドライバ回路素子の出力端子は、上述した配線基板 20 の配線に接続される。図 9 の光制御基板 1 には、光ファイバー F を用いて、レンズ等の光学部品を介して入力光 L i n が入力される。他方、光制御基板 1 から出射した光波は、例えば、偏波合成手段 P C を経て合成され、レンズ等の光学部品を介して、別の光ファイバーに入力され、出力光 L o u t となる。

【0036】

さらに、ドライバ回路素子 D R V に入力する変調信号 S 0 を生成する信号発生器 D S P を設け、光送信装置として構成することも可能である。光変調器とドライバ回路素子を筐体 C S に組み込み、さらに当該筐体 C S と信号発生器 D S P を一つのシャーシに組み込むことも可能である。

40

【産業上の利用可能性】

【0037】

以上のように、本発明によれば、光制御基板の作用部における信号電極の幅が狭くなった場合でも、信号電極と配線基板の信号配線との間の電氣的接続を確実に行うことが可能な光変調器を提供することが可能となる。また、これらの光変調器を用いた光伝送装置を提供することもできる。

【符号の説明】

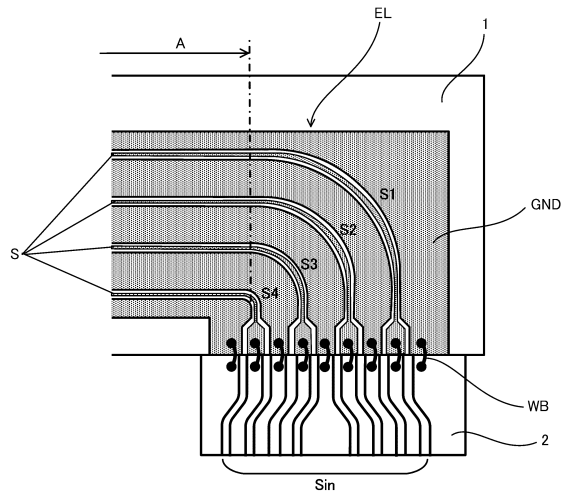
【0038】

50

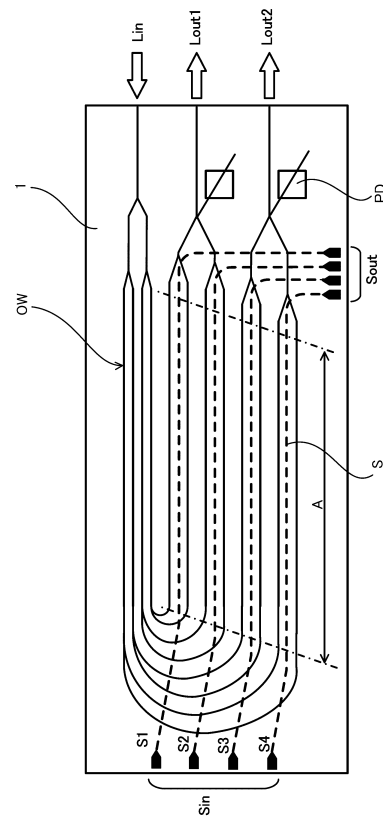
- 1 光制御基板
- 2 0 配線基板（中継基板）
- 2 1 配線基板（終端基板）
- S 信号電極
- S c 信号電極の接続部分
- G N D 接地電極
- G c 接地電極の接続部分
- O W 光導波路

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

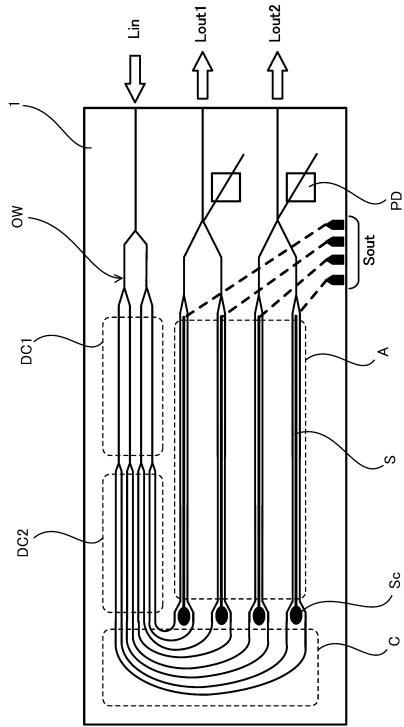
20

30

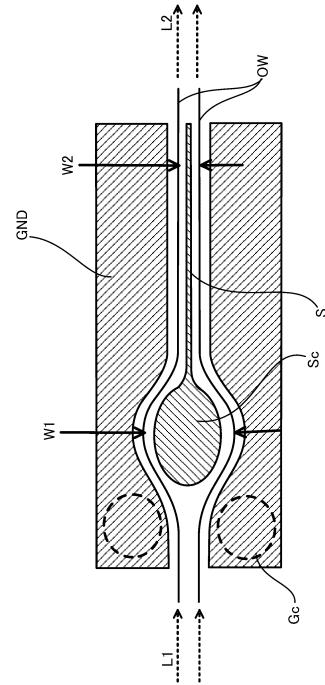
40

50

【図 3】



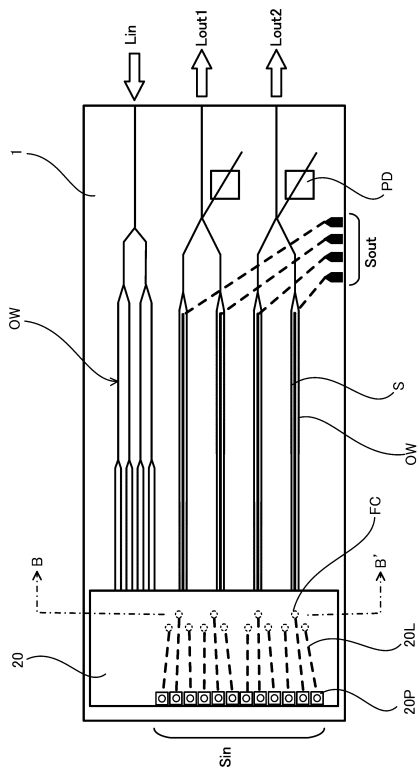
【図 4】



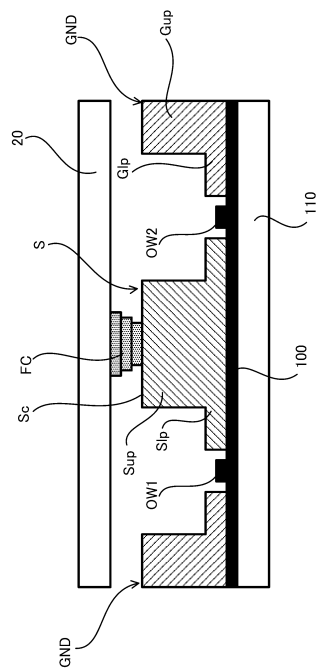
10

20

【図 5】



【図 6】

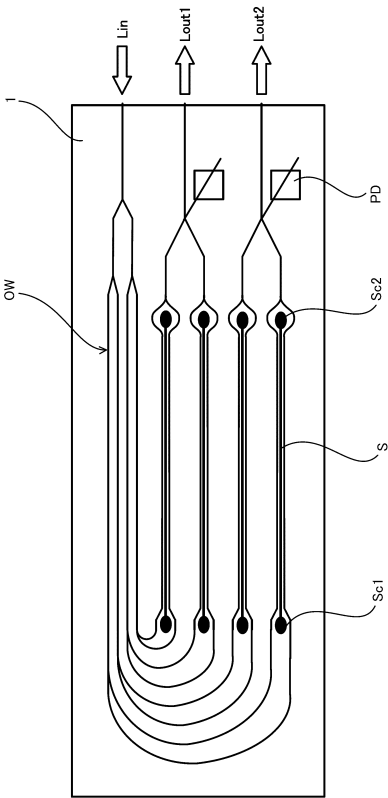


30

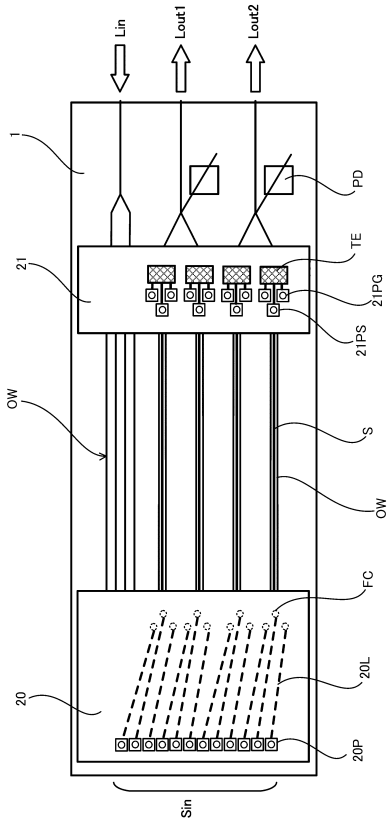
40

50

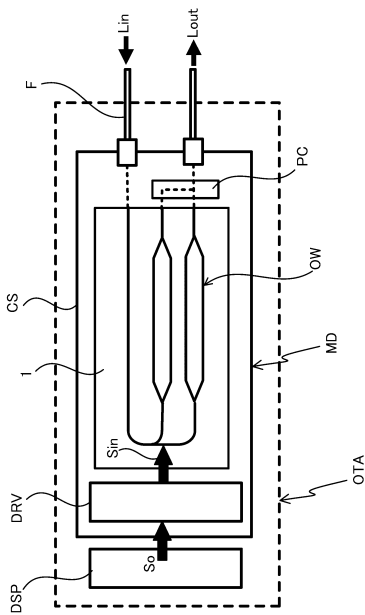
【図 7】



【図 8】



【図 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 片岡 優

東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内

審査官 堀部 修平

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 5 / 1 9 3 9 8 1 (W O , A 1)

米国特許第 1 0 7 8 8 6 8 9 (U S , B 1)

特開 2 0 0 6 - 2 8 4 8 3 8 (J P , A)

特開平 0 5 - 2 8 9 0 3 4 (J P , A)

特開 2 0 1 1 - 2 0 9 4 5 6 (J P , A)

特開 2 0 1 5 - 0 4 5 7 9 0 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

G 0 2 F 1 / 0 0 - 1 / 1 2 5

G 0 2 F 1 / 2 1 - 1 / 3 9