

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-116751

(P2017-116751A)

(43) 公開日 平成29年6月29日(2017.6.29)

(51) Int.Cl.

G02F 1/025 (2006.01)

F I

G02F 1/025

テーマコード(参考)

2K102

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2015-252568 (P2015-252568)
 (22) 出願日 平成27年12月24日 (2015.12.24)

(71) 出願人 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
 (74) 代理人 110001243
 特許業務法人 谷・阿部特許事務所
 (72) 発明者 上田 悠太
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日
 本電信電話株式会社内
 (72) 発明者 神徳 正樹
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日
 本電信電話株式会社内
 Fターム(参考) 2K102 AA28 BA01 BB01 BB04 BC10
 CA02 CA13 DA05 DB04 DD03
 EA05 EA25 EB11 EB22 EB28

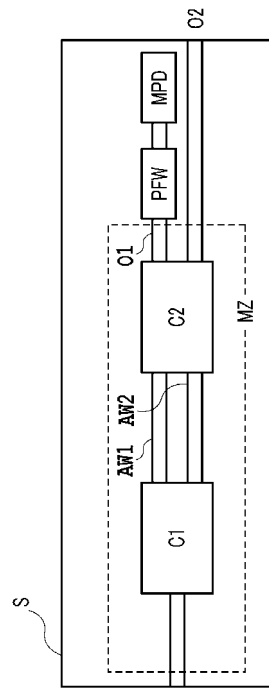
(54) 【発明の名称】 干渉型光回路およびその制御方法

(57) 【要約】

【課題】光導波路へ加えるべき制御信号の強さを、入力光の偏波クロストークの影響を取り除いて決定する。

【解決手段】少なくとも1つの入力ポートを有する分波器と、少なくとも2つの出力ポートを有する合波器と、前記分波器と前記合波器との間を接続する複数のアーム導波路とを含む干渉型光回路であって、前記2つの出力ポートのうち第1の出力ポートに接続され、特定の偏光状態の光のみを吸収する偏光フィルタ導波路と、前記偏光フィルタ導波路の出力に接続されたフォトディテクタを備え、前記フォトディテクタからの光電流に応じて前記アーム導波路に制御信号を印加することにより、前記2つの出力ポートのうち第2の出力ポート光出力を制御する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも 1 つの入力ポートを有する分波器と、少なくとも 2 つの出力ポートを有する合波器と、前記分波器と前記合波器との間を接続する複数のアーム導波路とを含む干渉型光回路であって、

前記 2 つの出力ポートのうち第 1 の出力ポートに接続され、特定の偏光状態の光のみを吸収する偏光フィルタ導波路と、

前記偏光フィルタ導波路の出力に接続されたフォトディテクタを備え、

前記フォトディテクタからの光電流に応じて前記アーム導波路に制御信号を印加することにより、前記 2 つの出力ポートのうち第 2 の出力ポートの光出力を制御することを特徴とする干渉型光回路。

10

【請求項 2】

前記偏光フィルタ導波路は、前記第 1 の出力ポートに接続された光導波路のクラッド層として金属クラッドを有し、同一基板上にモノリシックに集積されていることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉型光回路。

【請求項 3】

前記偏光フィルタ導波路は、前記第 1 の出力ポートに接続された光導波路であってリッジ型の光導波路の側面に金属クラッドを有し、同一基板上にモノリシックに集積されていることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉型光回路。

20

【請求項 4】

前記フォトディテクタは、前記第 1 の出力ポートに接続された光導波路のコア層を、異なるバンドギャップ波長を有するコア層に置き換え、同一基板上にモノリシックに集積されていることを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の干渉型光回路。

【請求項 5】

前記フォトディテクタは、量子井戸構造を有し、前記偏光フィルタ導波路が吸収する特定の偏光状態の光と同じ偏光状態の光を吸収することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の干渉型光回路。

【請求項 6】

少なくとも 1 つの入力ポートを有する分波器と、少なくとも 2 つの出力ポートを有する合波器と、前記分波器と前記合波器との間を接続する複数のアーム導波路とを含む干渉型光回路の制御方法であって、

30

前記 2 つの出力ポートのうち第 1 の出力ポートに接続され、特定の偏光状態の光のみを吸収する偏光フィルタ導波路の出力に接続されたフォトディテクタからの光電流を取得するステップと、

前記フォトディテクタからの光電流に応じて前記アーム導波路に制御信号を印加することにより、前記 2 つの出力ポートのうち第 2 の出力ポートの光出力を制御するステップとを備えたことを特徴とする干渉型光回路の制御方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

40

本発明は、干渉型光回路およびその制御方法に関し、より詳細には、マッハツェンダ干渉計光導波路など光の干渉効果を利用する干渉型光回路およびその制御方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

マッハツェンダ干渉計光導波路に代表される、光の干渉効果を利用する干渉型光回路は、光デバイスの重要な構成要素である。例えば、マッハツェンダ干渉計は、適当な分波回路によって、入力された光を 2 分岐させ、アーム導波路と呼ばれる 2 本の光導波路を、別々に導波させる。2 本のアーム導波路からの光を合波器で再び合波させるが、合波される 2 つの光波の位相差によって、合波器から出力される光の強度、位相が変化する。また、合波器が複数の出力導波路を有している場合には、合波器から出力される光の出力導波路

50

が変化する。

【 0 0 0 3 】

マッハツェンダ干渉計を用いて、2つの光波の位相を外部信号によって変化させて、外部信号によって出力光の状態を制御したり、アーム導波路の位相特性に強い波長依存性を持たせて波長制御素子としたり、偏光依存性を持たせて偏光制御素子とすることができる。ただし、アーム導波路の位相特性を設計通りに作製することは、作製揺らぎの観点から困難であり、実際はアーム導波路に外部信号を加えることにより、その屈折率を変化させて、アーム導波路の位相誤差を補償する方法が採られている。

【 0 0 0 4 】

図1に、従来のマッハツェンダ干渉計を示す。マッハツェンダ干渉計MZ1は、1つの入力ポートI1を有する分波器C1-1と、2つの出力ポートO1-1およびO1-2を有する合波器C1-2と、分波器C1-1と合波器C1-2との間を接続する2本のアーム導波路AW11およびAW12とを備えている（例えば、非特許文献1参照）。MZ1に入力された光は、所定の割合で出力ポートO1-1とO1-2とから出力されるが、一般的には、アーム導波路AW11およびAW12の作製揺らぎにより、出力ポートO1-1とO1-2から出力される光の割合は、作製した素子毎にランダムな誤差を有する。

10

【 0 0 0 5 】

例えば、出力ポートO1-1からの光出力を最大化したい場合には、アーム導波路AW11, AW12に適当な制御信号を印加することにより、マッハツェンダ干渉計MZ1における光の干渉状態を変化させて、アーム導波路AW11, AW12を伝搬する光の位相を制御する。原理的には、出力ポートO1-1からの光出力を最大化すると、出力ポートO1-2からの光出力が最小化される。このことから、出力ポートO1-2からの光出力の強度をモニタリングし、これを最小化するようにアーム導波路AW11, AW12に加える信号を調整して、出力ポートO1-1からの光出力を最大化することができる。具体的には、出力ポートO1-2に光を吸収して電流に変換するモニタ用フォトディテクタを配置する。フォトディテクタからの光電流が最小値になるように、アーム導波路AW11, AW12への信号を制御する。

20

【 0 0 0 6 】

しかしながら、実際には、出力ポートO1-2からの光出力が最小値を取る場合でも、出力ポートO1-1からの光出力が最大にならない場合がある。その原因の1つが光デバイスの偏光依存性である。一般に光デバイスは、偏光依存性、すなわち伝搬する光電界の振動方向によって特性が異なるという特性を有している。図1のマッハツェンダ干渉計MZ1の場合を例にとると、入力される光の偏光状態の違いによって、アーム導波路AW11, AW12に同一の信号を加えたとしても、出力ポートO1-1, O1-2への光の出力の割合が異なる現象が起こり得る。

30

【 0 0 0 7 】

図2に、従来のマッハツェンダ干渉計の透過特性を示す。図2(a)は、マッハツェンダ干渉計MZ1のTEモード（光電界が導波路の水平方向に平行）に対する透過特性を示し、図2(b)は、TMモード（光電界が導波路の水平方向に垂直）に対する透過特性を示している。図2の横軸は、制御信号強度であり、入力ポートI1にTEモードの光を入力しておき、透過特性の繰り返し周期を一周期分変化させるために必要な、アーム導波路AW11, AW12へ加える信号強度を100%としている。実際には、アーム導波路AW11, AW12へ加える電圧、電流の値に換算される。

40

【 0 0 0 8 】

図2(a), (b)を比較すると、アーム導波路AW11, AW12に信号を加えていない場合（制御信号強度0%）、出力ポートO1-1, O1-2への光出力の割合が、入力光のTEモードとTMモードという偏波によって異なる。また、アーム導波路AW11, AW12に同じ強度の制御信号を加えた場合、TMモードの方がアーム導波路間の光の位相差が大きく、透過率の変化が大きいことがわかる。

【 先行技術文献 】

50

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】M. G. Boudreau, M. Scheer, I. Betty, L. Langley, and R. Longone, "An integrated waveguide detector for power control in an InP Mach-Zehnder modulator based 10 Gb/s transmitter," in Int. Conf. on Indium Phosphide Related Materials, 2006, pp. 352-355.

【非特許文献2】Chunsheng Ma, "Mode propagation and absorption loss in metal-clad periodic optical waveguides", J. Opt. Soc. Am. A, vol. 13, pp. 276-284, 1996.

【非特許文献3】T. Ido, H. Sano, D. J. Moss, S. Tanaka, and A. Takai, "Strained InGaAsInAlAs MQW Electro-Absorption Modulators with Large Bandwidth and Low Driving Voltage", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, pp.1207-1209, 1994. 10

【非特許文献4】Y. Ueda, Takeshi Fujisawa, Kiyoto Takahata, Masaki Kohtoku, and Hiroyuki Ishii, "InP-based compact transversal filter for monolithically integrated light source array," OPTICS EXPRESS, Vol. 22, No. 7, pp.7844-7851, 2014.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

図3に、従来のマッハツェンダ干渉計において偏波クロストークがある場合の透過特性を示す。図2に示した透過特性を有するマッハツェンダ干渉計MZ1に、TEモードの光とTMモードの光を10:1の割合で入力した際の透過率を示している。マッハツェンダ干渉計MZ1へ入力される光の偏波クロストークは10dBである。入力光に意図とは異なる偏波成分が含まれている状態、すなわち偏波クロストークを有していると、図3に示したように、偏光依存性のために、透過率の外部信号強度に対する曲線が歪んでいることが分かる。 20

【0011】

図3において、偏波クロストークがある場合の出力ポートO1-2からの光出力は、制御信号強度が40%程度で最小値を取っている。一方、図2(a)のTEモードの光のみの透過率は、制御信号強度が50%で最小値を取っている。マッハツェンダ干渉計MZ1にTEモードの光を入力し、上述したように、出力ポートO1-2をモニタリングして出力ポートO1-1の光出力を制御する場合、入力光にTMモードが混ざっていると、出力ポートO1-2のモニタリングだけでは、出力ポートO1-1の光出力を正確に制御できないことがわかる。 30

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の目的は、光導波路へ加えるべき制御信号の強さを、入力光の偏波クロストークの影響を取り除いて決定することができる干渉型光回路およびその制御方法を提供することにある。

【0013】

本発明は、このような目的を達成するために、一実施態様は、少なくとも1つの入力ポートを有する分波器と、少なくとも2つの出力ポートを有する合波器と、前記分波器と前記合波器との間を接続する複数のアーム導波路とを含む干渉型光回路であって、前記2つの出力ポートのうち第1の出力ポートに接続され、特定の偏光状態の光のみを吸収する偏光フィルタ導波路と、前記偏光フィルタ導波路の出力に接続されたフォトディテクタを備え、前記フォトディテクタからの光電流に応じて前記アーム導波路に制御信号を印加することにより、前記2つの出力ポートのうち第2の出力ポートの光出力を制御することを特徴とする。 40

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、特定の偏光状態の光のみを吸収する偏光フィルタ導波路とフォトディ 50

テクタとにより検出された光電流に応じて、アーム導波路に制御信号を印加するので、光導波路へ加えるべき制御信号の強さを、入力光の偏波クロストークの影響を取り除いて決定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】従来のマッハツェンダ干渉計の模式図である。

【図2】従来のマッハツェンダ干渉計の透過特性を示す図である。

【図3】従来のマッハツェンダ干渉計において偏波クロストークがある場合の透過特性を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施形態にかかる干渉型光回路を示す図である。

10

【図5】第1の実施形態の干渉型光回路の光導波路を示す断面図である。

【図6】第1の実施形態の干渉型光回路の偏光フィルタ導波路を示す断面図である。

【図7】第1の実施形態の干渉型光回路において偏波クロストークがある場合の透過特性を示す図である。

【図8】偏光フィルタ導波路の別の実施例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0017】

(第1の実施形態)

20

図4に、本発明の第1の実施形態にかかる干渉型光回路を示す。1×2ポート構成のマッハツェンダ干渉計MZは、1つの入力ポートIを有する分波器C1と、2つの出力ポートO1およびO2を有する合波器C2と、分波器C1と合波器C2との間を接続する2本のアーム導波路AW1およびAW2とを備えている。出力ポートO1には、偏光フィルタ導波路PFWを介して、モニタ用フォトディテクタMPDがモノリシック集積されている。分波器C1は、1×2のY分岐回路、2×2の光カプラを用いることができる。合波器C2は、2×2の光カプラを用いることができる。

【0018】

入力ポートIから入力された光は、マッハツェンダ干渉計MZに入力されて、分波器C1から所定の割合で、アーム導波路AW1およびAW2に出力される。入力光の波長は1.55μmであり、マッハツェンダ干渉計MZは図2に示した透過特性を有しているとする。出力ポートO2が干渉型光回路のメイン出力であり、アーム導波路AW1、AW2に適切な制御信号を印加することにより、マッハツェンダ干渉計MZにおける光の干渉状態を変化させて、アーム導波路AW1、AW2を伝搬する光の位相を制御する。出力ポートO1に接続されたモニタ用フォトディテクタMPDからの光電流量に応じて制御信号を印加し、出力ポートO2からの光出力を制御する。

30

【0019】

アーム導波路AW1、AW2における光の位相制御は、例えば、熱光学効果を利用する。アーム導波路AW1、AW2に沿ってヒータを配置し、ヒータへの電流を制御して、導波路内の屈折率を変化させ、導波路を伝播する光の位相を制御する。

40

【0020】

図5は、第1の実施形態の干渉型光回路の光導波路を示す断面図である。基板S上にコア層COが形成され、さらにコア層CO上にクラッド層CLが形成されている。基板Sとしては、InPを選択する。基板Sの材料としては、シリコン、ガラスなどの他の材料でも構わない。コア層COは、0.5μm厚のInGaAsPであり、クラッド層CLは、2.0μm厚のInPである。ここで、光を閉じ込めるコア層COのInGaAsPは、フォトルミネッセント評価において1.3μmをピーク波長(バンドギャップ波長1.3μm)として発光する半導体組成を用いている。ドライエッチング工程などにより、図5の破線の形状に加工することにより、リッジ型の光導波路を形成する。このような構成の光導波路を用いて、分波器、合波器、アーム導波路、入出力ポートに接続される入出力導

50

波路が形成されている。

【0021】

偏光フィルタ導波路 PFW の出力に接続されたモニタ用フォトディテクタ MPD は、出力ポート O1 に接続された出力導波路に形成されている。InP 基板 S 上に干渉型光回路を形成しているため、InGaAsP コア層 CO の一部を、光導波路のバンドギャップ波長とは異なる $1.55 \mu\text{m}$ に近いバンドギャップ波長を有する InGaAsP に置き換えることにより、モニタ用フォトディテクタ MPD をモノリシック集積している。基板 S がシリコンの場合は、コア層 CO として SiG 層を堆積させることにより、フォトディテクタが得られる。基板 S がガラスの場合は、既存のベアチップ型のフォトディテクタを貼り付けることにより、フォトディテクタを集積することができる。このようにして、同一の基板 S 上に、分波器、合波器、アーム導波路等とともに、フォトディテクタをモノリシック集積することができる。

10

【0022】

図 6 は、第 1 の実施形態の干渉型光回路の偏光フィルタ導波路を示す断面図である。偏光フィルタ導波路 PFW は、出力ポート O1 に接続された出力導波路において、図 5 に示したリッジ型の光導波路のクラッド層 CL を $1.5 \mu\text{m}$ 取り除き、その上から金を蒸着して金属クラッド MCL を形成してある。このようにして、同一の基板 S 上に、分波器、合波器、アーム導波路等とともに、偏光フィルタ導波路をモノリシック集積することができる。偏光フィルタは、特定の偏光の光を強く吸収するように設計されている。金属クラッドを有する導波路は、その損失に強い偏光依存性を有することが知られており、InP 系導波路においては、TE モードと TM モードの間で吸収係数の差が 2 桁程度異なることが知られている（例えば、非特許文献 2 参照）。

20

【0023】

金属を光導波路のコア層の直上に付けることにより、TM モードに対する吸収係数が TE モードに対する吸収係数に対して大きくなる。図 6 に示したリッジ型の光導波路の固有モードを計算すると、TE モードの光パワーの減衰係数が 2.5 cm^{-1} であるのに対して、TM モードの減衰量は 80 cm^{-1} と計算される。従って、偏光フィルタ導波路 PFW に沿って、光を $300 \mu\text{m}$ 程度伝搬させれば、TM モードの光を TE モードと比較して 10 dB 減衰させることができる。

【0024】

図 7 に、第 1 の実施形態の干渉型光回路において偏波クロストークがある場合の透過特性を示す。マッハツェンダ干渉計 MZ における偏波クロストークは 10 dB であり、偏光フィルタ導波路 PFW からの出力の光透過特性である。図 3 に示した透過特性と比較すると、偏光フィルタ導波路 PFW によって TM モード成分が除去され、透過特性の曲線の歪が解消されているのが分かる。TE モードの透過率が最小になる制御信号強度が 50% となっており、図 2 (a) に示した透過特性と等しいことが分かる。

30

【0025】

従って、偏光フィルタ導波路 PFW の出力に接続されたモニタ用フォトディテクタ MPD からの光電流が最小となるように、アーム導波路 AW1, AW2 へ制御信号を印加すれば、出力導波路 O2 からの TE モードの成分が最大になり、マッハツェンダ干渉計 MZ を正確に制御することができる。

40

【0026】

マッハツェンダ干渉計 MZ における偏波クロストークが既知であれば、偏光フィルタ導波路 PFW の導波路の長さを一意に決めることができる。また、偏波クロストークの値を正確に知ることができれば、アーム導波路 AW1, AW2 への制御信号を、偏波クロストークの値に応じて、調整することも考えられる。しかしながら、製造誤差、環境条件に依存する偏波クロストークの値を正確に知るのは難しい。

【0027】

一方、偏波クロストークの値を正確に知ることができない場合でも、TM モードの光がある程度（例えば、 10 dB ）減衰させることができる偏光フィルタ導波路を設置してお

50

けば、偏波クロストークを減少させることができるので、出力導波路O2に対する制御の精度を向上させることができる。従って、本実施形態によれば、より簡便な方法により、偏波クロストークの影響を取り除くことができる。

【0028】

図8に、偏光フィルタ導波路の別の実施例を示す。第1の実施形態では、偏光フィルタ導波路PFWをTEモードが透過しやすいように設計した。図5に示したリッジ型の光導波路の側面に金属クラッドMCL21, MCL22を蒸着すれば、TEモードを吸収してTMモードが透過しやすい偏光フィルタを実現することができる。従って、マッハツェンダ干渉計MZをTMモードで動作させたい場合には、TMモードの光に、偏波クロストークとしてTEモードが入力光に混ざっていても、上述のモニタリングの誤差を解消することができる。

10

【0029】

(第2の実施形態)

第1の実施形態では、偏光フィルタ導波路PFWから出力された光を、InGaAsPがコア層であるモニタ用フォトディテクタMPDで受光していた。フォトディテクタの吸収係数を、強い偏光依存性を有するようにすることで、さらに、優先的に特定の偏光の光のみを吸収することができる。

【0030】

半導体は薄膜化して量子井戸構造とすると、価電子帯の重い正孔と軽い正孔のエネルギーバンドの縮退が解けて、片方のみの正孔のバンドが光吸収に寄与する。一般に歪の無い、いわゆる無歪の量子井戸では、重い正孔が光吸収に強く影響し、軽い正孔の影響度は小さくなる。重い正孔は、TMモードよりもTEモードの光を強く吸収する特徴があるために、フォトディテクタMPDとして量子井戸の吸収層を持たせれば、TEモードを強く吸収することができる。例えば、非特許文献3では、多重量子井戸の偏光依存性について調査しており、TMモードの光を1dB程度吸収するとき、TEモードの光を20dB以上吸収しており、偏光依存性の強い光吸収特性を示すことが開示されている。

20

【0031】

偏光フィルタ導波路PFWをTMモードを吸収するように設計しつつ、かつモニタ用フォトディテクタMPDに無歪の量子井戸構造の半導体を用いる。この構成によれば、偏光フィルタ導波路PFWとモニタ用フォトディテクタMPDの全体として、TEモードの光を強く検知できるモニタ回路が得られる。

30

【0032】

一方、図8に示した偏光フィルタ導波路PFWを用いて、マッハツェンダ干渉計MZからの光からTMモードを取り出したいときは、フォトディテクタMPDの量子井戸を圧縮歪とすればよい。このとき、軽い正孔による光吸収が強くなり、フォトディテクタMPDは、TMモードを優先的に吸収することになる。

【0033】

(第3の実施形態)

第1および第2の実施形態では、マッハツェンダ干渉計を適用した干渉型光回路を例に説明した。このほか、多入力多出力の第1のマルチモード干渉計(MMI)と、多入力多出力の第2のMMIと、第1および第2のMMIの間を接続する複数のアーム導波路とを備えた干渉型光回路(例えば、非特許文献4参照)においても、本実施形態を適用することができる。第2のMMIのいずれかの出力ポートに、偏光フィルタ導波路PFWを介してモニタ用フォトディテクタMPDを接続する。モニタ用フォトディテクタMPDからの光電流に応じて、アーム導波路への制御信号を調整すればよい。

40

【符号の説明】

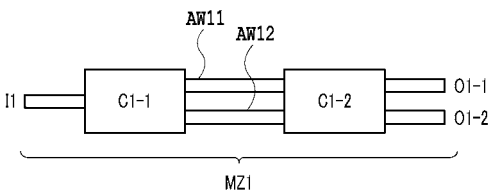
【0034】

MZ, MZ1 マッハツェンダ干渉計
I, I1 入力ポート
C1, C1-1 分波器

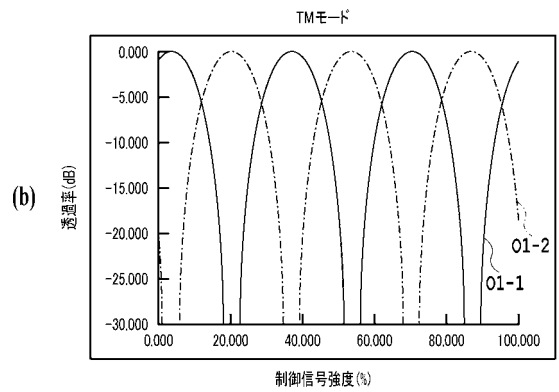
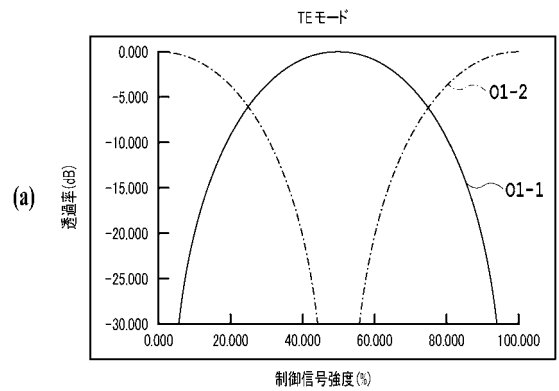
50

- C 2 , C 1 - 2 合波器
- O 1 , O 2 , O 1 - 1 , O 1 - 2 出力ポート
- A W 1 , A W 2 , A W 1 1 , A W 1 2 アーム導波路
- P F W 偏光フィルタ導波路
- M P D モニタ用フォトディテクタ
- S 基板
- C O コア層
- C L クラッド層
- M C L , M C L 2 1 , M C L 2 2 金属クラッド

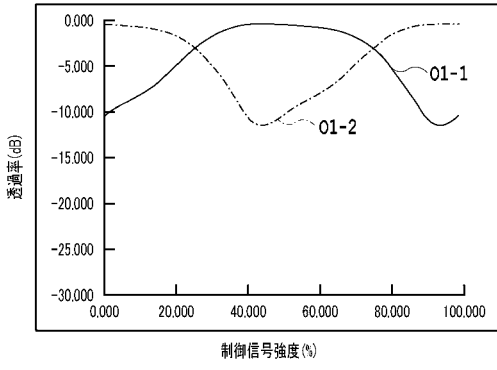
【 図 1 】



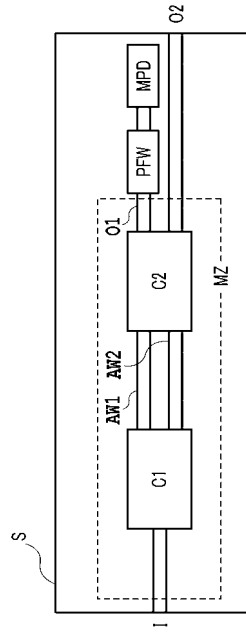
【 図 2 】



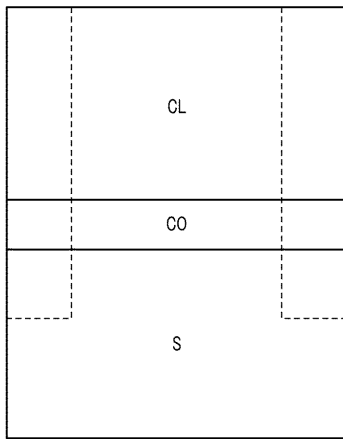
【 図 3 】



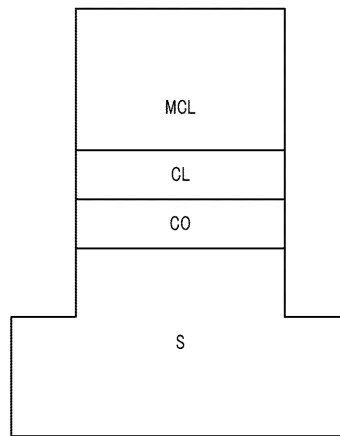
【 図 4 】



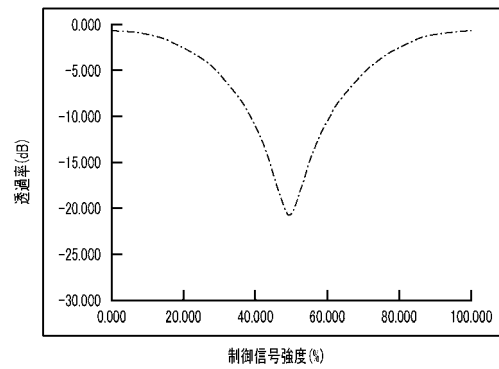
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

