

(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2010-79082

(P2010-79082A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.

G02F 1/313 (2006.01)

F I

G02F 1/313

テーマコード (参考)

2K002

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2008-249108 (P2008-249108)  
 (22) 出願日 平成20年9月26日 (2008.9.26)

(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二丁目3番1号  
 (74) 代理人 100077481  
 弁理士 谷 義一  
 (74) 代理人 100088915  
 弁理士 阿部 和夫  
 (72) 発明者 水野 隆之  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
 本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 郷 隆司  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

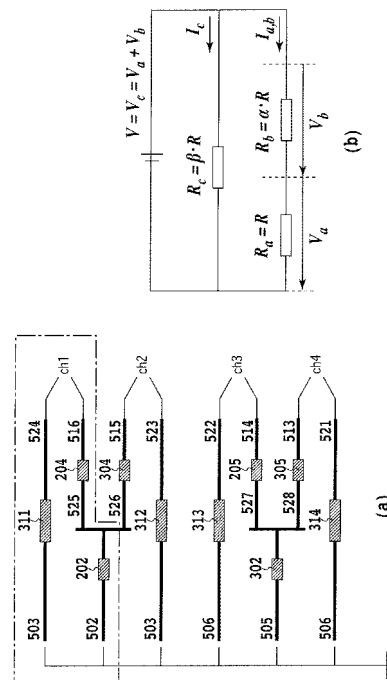
(54) 【発明の名称】 多方路光スイッチ

(57) 【要約】

【課題】電極スイッチの切り替えの煩雑さを解消した多方路光スイッチを提供すること。

【解決手段】駆動電極チャネル1に給電すると、2分岐スイッチ素子402を第1のスイッチ素子、ゲートスイッチ素子411を第1のスイッチ素子とした時、第1のスイッチ素子の駆動手段202と、第2のスイッチ素子の駆動手段311が並列に共通駆動される。また、2分岐スイッチ素子404を第3のスイッチ素子とした時、第3のスイッチ素子の駆動手段204が、第1のスイッチ素子の駆動手段202と直列に駆動される。第1および第3のスイッチ素子の駆動に要するパワーは $P_1 = P\pi/2$ 、第2のスイッチ素子の駆動に要するパワーは $P_2 = P\pi$ であるので、第1のスイッチ素子と第2のスイッチ素子の駆動手段を共通駆動した時に、配分されるパワーの比率が $P_1/P_2 = 1/2$ になるようにする。

【選択図】図8



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数のスイッチ素子より構成された多方路光スイッチにおいて、

前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、光路の切り替え、または、光の透過もしくは遮断を行う駆動手段を備え、

前記複数のスイッチ素子のうちの第 1 のスイッチ素子の駆動に要する第 1 のパワー  $P_1$  と、前記複数のスイッチ素子のうちの第 2 のスイッチ素子の駆動に要する第 2 のパワー  $P_2$  が異なり、

前記第 1 のスイッチ素子に配分されるパワーと前記第 2 のスイッチ素子に配分されるパワーの比率が  $P_1 / P_2$  になるように、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と前記第 2 のスイッチ素子の駆動手段が共通駆動されることを特徴とする多方路光スイッチ。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と前記第 2 のスイッチ素子の駆動手段が、並列に共通駆動されることを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記複数のスイッチ素子のうちの第 3 のスイッチ素子の駆動手段が、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と直列に駆動されることを特徴とする多方路光スイッチ。

20

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記第 1 から第 3 のスイッチ素子の駆動手段が抵抗発熱体であり、

前記抵抗発熱体の抵抗値を夫々  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  としたとき、 $R_1$  と  $R_3$  は夫々  $R_2$  の半分に設定されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 5】

請求項 2 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記多方路光スイッチを構成する前記複数のスイッチ素子の駆動手段とは別に設けられた第 3 の駆動手段が、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と直列に接続されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

30

## 【請求項 6】

請求項 5 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記第 1 および第 2 のスイッチ素子の駆動手段が抵抗発熱体であり、

前記第 3 の駆動手段が抵抗値  $R_3$  の抵抗体であり、

前記第 1 および第 2 のスイッチ素子の発熱抵抗体の抵抗値を夫々  $R_1$ 、 $R_2$  としたとき、 $R_1$  と  $R_3$  の和が  $R_2$  に設定されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 7】

請求項 1 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と前記第 2 のスイッチ素子の駆動手段が、直列に共通駆動されることを特徴とする多方路光スイッチ。

40

## 【請求項 8】

請求項 7 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記第 1 および第 2 のスイッチ素子の駆動手段が抵抗発熱体であり、

前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段の抵抗値を  $R_1$ 、前記第 2 のスイッチ素子の抵抗値を  $R_2$  としたとき、 $R_1 / R_2$  が  $P_1 / P_2$  に等しいことを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 9】

請求項 3 または 4 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、

入力光を 2 分波する光分波器と、

前記光分波器に接続された第 1 の光導波路および第 2 の光導波路と、

50

前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路を合波する光合波器と、  
前記光合波器に接続された 1 つ又は 2 つの出力ポートと、  
前記第 1 および第 2 の光導波路に形成された駆動手段と  
を備えるマッハツェンダ干渉計 (MZI) 型素子であり、  
前記 MZI 型素子のスイッチングパワーを  $P\pi$  とすると、  
前記第 1 および前記第 3 のスイッチ素子は、第 1 の出力ポートおよび第 2 の出力ポート  
を有し、前記第 1 の出力ポートおよび前記第 2 の出力ポートに光を出力するのに要するパ  
ワーがそれぞれ  $P\pi/2$  および  $-P\pi/2$  である 2 分岐スイッチであり、  
前記第 2 のスイッチ素子は、単一の出力ポートを有する場合には、前記単一の出力ポー  
トの出力光が遮断されるように、第 1 の出力ポートおよび第 2 の出力ポートを有する場合  
には、前記 MZI 型素子の前記第 1 の出力ポートおよび前記第 2 の出力ポートのいずれか  
の出力光が遮断されるように、前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路との光学的光路  
長差が設定されているゲートスイッチ素子であることを特徴とする多方路光スイッチ。

10

【請求項 10】

請求項 5 または 6 に記載の多方路光スイッチにおいて、  
前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、  
入力光を 2 分波する光分波器と、  
前記光分波器に接続された第 1 の光導波路および第 2 の光導波路と、  
前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路を合波する光合波器と、  
前記光合波器に接続された 1 つ又は 2 つの出力ポートと、  
前記第 1 および第 2 の光導波路に形成された駆動手段と  
を備えるマッハツェンダ干渉計 (MZI) 型素子であり、  
前記 MZI 型素子のスイッチングパワーを  $P\pi$  とすると、  
前記第 1 のスイッチ素子は、第 1 の出力ポートおよび第 2 の出力ポートを有し、前記第  
1 の出力ポートおよび前記第 2 の出力ポートに光を出力するのに要するパワーがそれぞれ  
 $P\pi/2$  および  $-P\pi/2$  である 2 分岐スイッチであり、  
前記第 2 のスイッチ素子は、単一の出力ポートを有する場合には、前記単一の出力ポー  
トの出力光が遮断されるように、第 1 の出力ポートおよび第 2 の出力ポートを有する場合  
には、前記 MZI 型素子の前記第 1 の出力ポートおよび前記第 2 の出力ポートのいずれか  
の出力光が遮断されるように前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路との光学的光路長  
差が設定されているゲートスイッチ素子であることを特徴とする多方路光スイッチ。

20

30

【請求項 11】

請求項 8 に記載の多方路光スイッチにおいて、  
前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、  
入力光を 2 分波する光分波器と、  
前記光分波器に接続された第 1 の光導波路および第 2 の光導波路と、  
前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路を合波する光合波器と、  
前記光合波器に接続された 1 つ又は 2 つの出力ポートと、  
前記光導波路に形成された駆動手段とからなるマッハツェンダ干渉計 (MZI) 型素  
子であり、  
前記 MZI 型素子のスイッチングパワーを  $P\pi$  とすると、  
前記第 1 のスイッチ素子は、第 1 の出力ポートおよび第 2 の出力ポートを有し、前記 M  
ZI 型素子の前記第 1 の出力ポートおよび前記第 2 の出力ポートに光を出力するのに要す  
るパワーがそれぞれ  $P\pi/2$  および  $-P\pi/2$  である 2 分岐スイッチであり、  
前記第 2 のスイッチ素子は、単一の出力ポートを有する場合には、前記単一の出力ポー  
トの出力光が遮断されるように、第 1 の出力ポートおよび第 2 の出力ポートを有する場合  
には、前記 MZI 型素子の前記第 1 の出力ポートおよび前記第 2 の出力ポートのいずれか  
の出力光が遮断されるように前記第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との光学的光路長差が  
設定されているゲートスイッチ素子であり、  
R1 が R2 の半分に設定されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

40

50

## 【請求項 1 2】

請求項 1 ~ 1 1 のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、  
前記スイッチ素子の駆動経路にダイオードを備えることを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の多方路光スイッチにおいて、  
電気スイッチで前記駆動経路を切り替えることを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 1 1 のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、  
前記スイッチ素子の一部を、光強度可変にしたことを特徴とする多方路光スイッチ。

10

## 【請求項 1 5】

請求項 1 ~ 1 4 のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、  
前記多方路光スイッチは、

N 段 (N は 1 以上の整数) の 2 分岐スイッチ素子で構成される  $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチと、

ゲートスイッチ素子が M 段 (M は 1 以上の整数) 従属に接続された、 $2^N$  個の M 段ゲート型スイッチと

を備え、

前記  $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの  $2^N$  個の出力と前記  $2^N$  個の M 段ゲート型スイッチの入力とが夫々導波路で接続されて、前記  $2^N$  個の M 段ゲート型スイッチに  $2^N$  個の出力ポートが接続されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

20

## 【請求項 1 6】

請求項 1 ~ 1 4 のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、  
前記多方路光スイッチは、

2 分岐スイッチ素子で構成される  $1 \times 2^N$  (N は 1 以上の整数) ツリー型スイッチと

、  
タップスイッチ素子が M 段 (M は 2 以上の整数) 従属に接続された、 $2^N$  個の M 段タップ型スイッチと

を備え、

前記  $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの  $2^N$  個の出力に夫々 M 段タップ型スイッチが接続されて、前記  $2^N$  個の M 段タップ型スイッチに ( $2^N \times M$ ) 個の出力ポートが接続されているか、または 1 段以上従属接続されたゲートスイッチ素子を通して ( $2^N \times M$ ) 個の出力ポートが接続されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

30

## 【請求項 1 7】

請求項 1 ~ 1 6 のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、

前記多方路光スイッチは、平面基板上に形成された石英系光導波路で構成され、前記駆動手段は、前記石英系光導波路の近傍に形成された薄膜ヒータであることを特徴とする多方路光スイッチ。

## 【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載の多方路光スイッチにおいて、

前記多方路光スイッチは、複数、平面基板上に形成されていることを特徴とする多方路光スイッチ。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、多方路光スイッチに関し、より詳細には、複数のスイッチ素子より構成された多方路光スイッチにおいて、方路の切り替えの簡易化を可能とする多方路光スイッチに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

50

近年のネットワークの通信容量の増大に対応するため、複数の異なる波長の光を、1本の光ファイバに多重化して伝送する波長分割多重(WDM)伝送などの光伝送技術の研究開発が行われている。当初、WDM伝送は、ノード間を結ぶポイント・トゥー・ポイントに用いられるのみで、ノード内では、電気信号に変換されてから信号処理が行われていた。しかし、最近では、電気信号に変換することなく、光のまま信号処理ができる光アド・ドロップシステム(OADM)や、光クロスコネクタシステム(OXC)(非特許文献1参照)などの伝送システムが求められている。そのような伝送システムを実現するには、光のまま光信号の方路を切り替えることのできる、多方路光スイッチが不可欠である。

#### 【0003】

図1に、従来の多方路光スイッチの構成を示す。この多方路光スイッチは、7つの2分岐素子911~917を3段、ツリー状に接続して形成したものであり、一つの入力/出力ポート900と、8つ(=2<sup>3</sup>)の入力/出力ポート901~908を有する。さらに、3段目の2分岐素子914~917の2つの出力ポートに、それぞれゲート素子921~928を接続し、各ポートの消光特性を向上させている。

#### 【0004】

ここで、図2を参照して多方路光スイッチを構成するスイッチ素子について説明する。2分岐素子やゲート素子として、マッハツェンダ干渉計(MZI)型素子が用いられている。MZI型素子は、2つの光カプラ909、910と、これら光カプラに挟まれた第1と第2の2本の光導波路994、995と、第1の光導波路994に形成された位相シフタ931と、光カプラ909につながる入力ポート990、991と、光カプラ910につながる出力ポート992、993より構成されている。位相シフタ931として薄膜ヒータなどが用いられ、薄膜ヒータに接続された電極に電力を与えることにより、薄膜ヒータが加熱され、熱光学効果により、光導波路の光学的光路長差を変化させることができる。

#### 【0005】

2分岐素子911~917として用いる図2(a)のMZI型素子は、位相シフタを駆動しない初期状態で、2本の光導波路の光学的光路長差が0に設定されており、光はクロスポート(入力990→出力993、もしくは、入力991→出力992)より出力される。ここで位相シフタを用いて半波長の光学的光路長差を与えると、光が出力されるポートが切り替わり、光はスルーポート(入力990→出力992、もしくは、入力991→出力993)より出力される。このように、位相シフタの駆動により、2つの出力ポート間で、光が出力されるポートを切り替えることができる。

#### 【0006】

一方、ゲート素子921~928として用いる図2(b)のMZI型素子は、位相シフタを駆動しない初期状態で、2本の光導波路の光学的光路長差が予め半波長に設定されており、光はクロスポートから出力されない。ここで位相シフタを用いて半波長の光学的光路長差を与え、2本の光導波路の光学的光路長差を0にすると、光はクロスポートから出力される。このように、位相シフタの駆動により、クロスポートの光を遮断または透過させることができる。

#### 【0007】

さて、図1に戻ると、各スイッチ素子には、位相シフタに接続された2本の電極があり、図に示すように配線されている。詳細には、2分岐素子911の一方の電極955を給電線、他方の電極951をグラウンド線とした。また、2分岐素子912と913の一方の電極957、956を給電線とし、他方の電極を共通化してグラウンド線952とした。また、2分岐素子914~917の一方の電極961~958を給電線とし、他方の電極を共通化してグラウンド線953とした。また、ゲート素子921~928の一方の電極969~962を給電線とし、他方の電極を共通化してグラウンド線954とした。特許文献1の図1に示すように、配線をグループごとに共通化することにより、電極の数を削減している。なお、特許文献1の図1では、一方の電極が省略されているが、電極を描くと図1のようになる。また、ここでは電極951、952、953、954をグラウン

10

20

30

40

50

ド線（制御線）、他方の 955～969 を給電線としていが、特許文献 1 のように、電極 951、952、953、954 を給電線、他方の 955～969 を制御線としても良い。

#### 【0008】

次に、方路の切り替えについて説明する。図 3 に、給電線、グラウンド線、及び、位相シフタ（薄膜ヒータ）の配線接続図を示す。ここでは説明を簡単にするため、図 1 の一点鎖線で囲った部分のみを取り上げる。この一点鎖線で囲った部分は 4 方路光スイッチであり、図 1 の 8 方路光スイッチは、2 つの 4 方路光スイッチと、2 分岐スイッチ素子 911 で構成された光スイッチと見ることができる。

#### 【0009】

10

図 3（a）において、位相シフタ 932、934、935、941、942、943、944 は、それぞれ、MZI 型素子 912、914、915、921、922、923、924 に形成された位相シフタであり、電極 957、961、960、969、968、967、966 につながっている。電気スイッチ 971～973 を用いて電源を供給する電極を選択し、位相シフタを駆動することで、方路を切り替えることができる。2 段の 2 分岐スイッチ素子と 1 段のゲートスイッチ素子からなる 4 方路光スイッチの場合、最大で 3 種類の電源が必要となる（図 3（b）参照）。出力ポート 901～904 に対する駆動電極を下記に示す。

#### 【0010】

1．光を出力ポート 901 より出力するには、電気デジタルスイッチ 973 で電極 969 を選択し、ゲート素子 921 に形成された位相シフタ 941 に給電する。

20

#### 【0011】

2．光を出力ポート 902 より出力するには、電気デジタルスイッチ 972 で電極 961 を、電気デジタルスイッチ 973 で電極 968 を選択し、2 分岐素子 914 及びゲート素子 922 に形成された位相シフタ 934 及び 941 に給電する。

#### 【0012】

3．光を出力ポート 903 より出力するには、電気デジタルスイッチ 971 で電極 957 を、電気デジタルスイッチ 972 で電極 960 を、電気デジタルスイッチ 973 で電極 967 を選択し、2 分岐素子 912、915、及び、ゲート素子 923 に形成された位相シフタ 932、935、及び、943 に給電する。

30

#### 【0013】

4．光を出力ポート 904 より出力するには、電気デジタルスイッチ 971 で電極 957 を、電気デジタルスイッチ 973 で電極 966 を選択し、2 分岐素子 912 及びゲート素子 924 に形成された位相シフタ 932 及び 944 に給電する。

#### 【0014】

上記駆動では、出力するポートごとに給電する電極の数が異なるため、消費電力が異なる。そこで、特許文献 2 に示すように、多方路光スイッチが形成された基板上に擬似薄膜ヒータを形成し、電力を印加することで、基板の温度を一定にする方法が報告されている。

#### 【0015】

40

【特許文献 1】特開第 2004 - 177515 号公報

【特許文献 2】特開第 2005 - 250320 号公報

【非特許文献 1】M. Okuno, "Highly integrated PLC-type optical switches for OADM and OXC systems," Optical Fiber Communications Conference (OFC) 2003, Vol.1, p. 169-170, 2003年3月23 - 28日

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0016】

従来技術では、グラウンド線か給電線の一方を共有化することで、駆動電源の数を削減することができたが、光の方路の切り替えを行うには、方路ごとに適切なスイッチ素子の

50

位相シフタを選択し、駆動する必要がある、複雑な電気スイッチの切り替え動作が必要であった。例えば、ツリー型の  $1 \times 2^N$  スイッチと M 段ゲート型スイッチ (N と M は 1 以上の整数) から構成された多方路光スイッチの場合、(N + M) グループの位相シフタがあり、方路の切り替えには、(N + M) グループそれぞれにつき、給電する位相シフタを適切に選択する必要がある。

【0017】

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その第 1 の目的は、電極スイッチの切り替えの煩雑さを解消した多方路光スイッチを提供することにある。

【0018】

また、本発明の第 2 の目的は、1 方路当たり 1 つの駆動電極で切り替え動作が可能な多方路光スイッチを提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記課題を解決するため、請求項 1 に記載の発明は、複数のスイッチ素子より構成された多方路光スイッチにおいて、前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、光路の切り替え、または、光の透過もしくは遮断を行う駆動手段を備え、前記複数のスイッチ素子のうちの第 1 のスイッチ素子の駆動に要する第 1 のパワー P1 と、前記複数のスイッチ素子のうちの第 2 のスイッチ素子の駆動に要する第 2 のパワー P2 が異なり、前記第 1 のスイッチ素子に配分されるパワーと前記第 2 のスイッチ素子に配分されるパワーの比率が  $P1 / P2$  になるように、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と前記第 2 のスイッチ素子の駆動手段が共通駆動されることを特徴とする。

20

【0020】

また、請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と前記第 2 のスイッチ素子の駆動手段が、並列に共通駆動されることを特徴とする。

【0021】

また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 2 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記複数のスイッチ素子のうちの第 3 のスイッチ素子の駆動手段が、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と直列に駆動されることを特徴とする。

30

【0022】

また、請求項 4 に記載の発明は、請求項 3 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記第 1 から第 3 のスイッチ素子の駆動手段が抵抗発熱体であり、前記抵抗発熱体の抵抗値を夫々 R1、R2、R3 としたとき、R1 と R3 は夫々 R2 の半分に設定されていることを特徴とする。

【0023】

また、請求項 5 に記載の発明は、請求項 2 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記多方路光スイッチを構成する前記複数のスイッチ素子の駆動手段とは別に設けられた第 3 の駆動手段が、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と直列に接続されていることを特徴とする。

40

【0024】

また、請求項 6 の記載の発明は、請求項 5 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記第 1 および第 2 のスイッチ素子の駆動手段が抵抗発熱体であり、前記第 3 の駆動手段が抵抗値 R3 の抵抗体であり、前記第 1 および第 2 のスイッチ素子の発熱抵抗体の抵抗値を夫々 R1、R2 としたとき、R1 と R3 の和が R2 に設定されていることを特徴とする。

【0025】

また、請求項 7 の記載の発明は、請求項 1 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記第 1 のスイッチ素子の駆動手段と前記第 2 のスイッチ素子の駆動手段が、直列に共通駆動されることを特徴とする。

【0026】

また、請求項 8 の記載の発明は、請求項 7 に記載の多方路光スイッチにおいて、前記第

50

1 および第2のスイッチ素子の駆動手段が抵抗発熱体であり、前記第1のスイッチ素子の駆動手段の抵抗値を $R_1$ 、前記第2のスイッチ素子の抵抗値を $R_2$ としたとき、 $R_1 / R_2$ が $P_1 / P_2$ に等しいことを特徴とする。

【0027】

また、請求項9の記載の発明は、請求項3または4に記載の多方路光スイッチにおいて、前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、入力光を2分波する光分波器と、前記光分波器に接続された第1の光導波路および第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路を合波する光合波器と、前記光合波器に接続された1つ又は2つの出力ポートと、前記第1および第2の光導波路に形成された駆動手段とを備えるマッハツェンダ干渉計(MZI)型素子であり、前記MZI型素子のスイッチングパワーを $P_\pi$ とすると、前記第1および前記第3のスイッチ素子は、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有し、前記第1の出力ポートおよび前記第2の出力ポートに光を出力するのに要するパワーがそれぞれ $P_\pi / 2$ および $-P_\pi / 2$ である2分岐スイッチであり、前記第2のスイッチ素子は、単一の出力ポートを有する場合には、前記単一の出力ポートの出力光が遮断されるように、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有する場合には、前記MZI型素子の前記第1の出力ポートおよび前記第2の出力ポートのいずれかの出力光が遮断されるように、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路との光学的光路長差が設定されているゲートスイッチ素子であることを特徴とする。

【0028】

また、請求項10の記載の発明は、請求項5または6に記載の多方路光スイッチにおいて、前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、入力光を2分波する光分波器と、前記光分波器に接続された第1の光導波路および第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路を合波する光合波器と、前記光合波器に接続された1つ又は2つの出力ポートと、前記第1および第2の光導波路に形成された駆動手段とを備えるマッハツェンダ干渉計(MZI)型素子であり、前記MZI型素子のスイッチングパワーを $P_\pi$ とすると、前記第1のスイッチ素子は、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有し、前記第1の出力ポートおよび前記第2の出力ポートに光を出力するのに要するパワーがそれぞれ $P_\pi / 2$ および $-P_\pi / 2$ である2分岐スイッチであり、前記第2のスイッチ素子は、単一の出力ポートを有する場合には、前記単一の出力ポートの出力光が遮断されるように、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有する場合には、前記MZI型素子の前記第1の出力ポートおよび前記第2の出力ポートのいずれかの出力光が遮断されるように前記第1の光導波路と前記第2の光導波路との光学的光路長差が設定されているゲートスイッチ素子であることを特徴とする。

【0029】

また、請求項11の記載の発明は、請求項8に記載の多方路光スイッチにおいて、前記複数のスイッチ素子のそれぞれは、入力光を2分波する光分波器と、前記光分波器に接続された第1の光導波路および第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路を合波する光合波器と、前記光合波器に接続された1つ又は2つの出力ポートと、前記光導波路に形成された駆動手段とからなるマッハツェンダ干渉計(MZI)型素子であり、前記MZI型素子のスイッチングパワーを $P_\pi$ とすると、前記第1のスイッチ素子は、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有し、前記MZI型素子の前記第1の出力ポートおよび前記第2の出力ポートに光を出力するのに要するパワーがそれぞれ $P_\pi / 2$ および $-P_\pi / 2$ である2分岐スイッチであり、前記第2のスイッチ素子は、単一の出力ポートを有する場合には、前記単一の出力ポートの出力光が遮断されるように、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有する場合には、前記MZI型素子の前記第1の出力ポートおよび前記第2の出力ポートのいずれかの出力光が遮断されるように前記第1の光導波路と第2の光導波路との光学的光路長差が設定されているゲートスイッチ素子であり、 $R_1$ が $R_2$ の半分に設定されていることを特徴とする。

【0030】

また、請求項12の記載の発明は、請求項1～11のいずれかに記載の多方路光スイッ

チにおいて、前記スイッチ素子の駆動経路にダイオードを備えることを特徴とする。

【0031】

また、請求項13の記載の発明は、請求項12に記載の多方路光スイッチにおいて、電気スイッチで前記駆動経路を切り替えることを特徴とする。

【0032】

また、請求項14の記載の発明は、請求項1～11のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、前記スイッチ素子の一部を、光強度可変にしたことを特徴とする。

【0033】

また、請求項15の記載の発明は、請求項1～14のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、前記多方路光スイッチは、 $N$ 段（ $N$ は1以上の整数）の2分岐スイッチ素子で構成される $1 \times 2^N$ ツリー型スイッチと、ゲートスイッチ素子が $M$ 段（ $M$ は1以上の整数）従属に接続された、 $2^N$ 個の $M$ 段ゲート型スイッチとを備え、前記 $1 \times 2^N$ ツリー型スイッチの $2^N$ 個の出力と前記 $2^N$ 個の $M$ 段ゲート型スイッチの入力とが夫々導波路で接続されて、前記 $2^N$ 個の $M$ 段ゲート型スイッチに $2^N$ 個の出力ポートが接続されていることを特徴とする。

10

【0034】

また、請求項16の記載の発明は、請求項1～14のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、前記多方路光スイッチは、2分岐スイッチ素子で構成される $1 \times 2^N$ （ $N$ は1以上の整数）ツリー型スイッチと、タップスイッチ素子が $M$ 段（ $M$ は2以上の整数）従属に接続された、 $2^N$ 個の $M$ 段タップ型スイッチとを備え、前記 $1 \times 2^N$ ツリー型スイッチの $2^N$ 個の出力に夫々 $M$ 段タップ型スイッチが接続されて、前記 $2^N$ 個の $M$ 段タップ型スイッチに（ $2^N \times M$ ）個の出力ポートが接続されているか、または1段以上従属接続されたゲートスイッチ素子を通して（ $2^N \times M$ ）個の出力ポートが接続されていることを特徴とする。

20

【0035】

また、請求項17の記載の発明は、請求項1～16のいずれかに記載の多方路光スイッチにおいて、前記多方路光スイッチは、平面基板上に形成された石英系光導波路で構成され、前記駆動手段は、前記石英系光導波路の近傍に形成された薄膜ヒータであることを特徴とする。

30

【0036】

また、請求項18の記載の発明は、請求項17に記載の多方路光スイッチにおいて、前記多方路光スイッチは、複数、平面基板上に形成されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0037】

本発明を適用することにより、多方路光スイッチの方路の選択に必要な駆動を容易にすることができる。

【0038】

1方路1駆動となる実施形態を適用すれば、1つの方路当たり1つの駆動で切り替え動作ができるので、駆動に必要な部品や制御が減り、コストを低減できる。

40

【0039】

また、どの方路に切り替えるにも、駆動手段に印加するパワーが同じになる実施形態を適用すれば、方路によらず発生する熱を均一にすることができ、特性のばらつきを抑えることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0040】

以下、図面を用いて本発明の実施形態を具体的に説明する。

【0041】

（第1の実施形態）

図4（a）に、本発明の第1の実施形態における多方路光スイッチの配線設計、図4（b）に、多方路光スイッチの回路構成を示す。

50

## 【 0 0 4 2 】

この多方路光スイッチは、図 5 に示す 2 種類のマッハツェンダ干渉計 ( M Z I ) 型素子より構成されている。 M Z I 型素子は、二つの光カプラ 1 1 1、1 1 2 と、これら光カプラに挟まれた第 1 と第 2 の 2 本の光導波路 1 4 5、1 4 6 と、第 1 と第 2 の光導波路にそれぞれ形成された薄膜ヒータ 2 0 1、3 0 1 と、光カプラ 1 1 1 につながる入力ポート 1 4 1、1 4 2 と、光カプラ 1 1 2 につながる出力ポート 1 4 3、1 4 4 より構成されている。薄膜ヒータに接続された電極 5 0 1、5 0 8、または、電極 5 0 4、5 0 7 に給電することにより、薄膜ヒータが加熱され、熱光学効果により、第 1 の光導波路 1 4 5 と第 2 の光導波路 1 4 6 との光学的光路長差を変化させることができる。ここで用いる薄膜ヒータは、スイッチ素子の光路の切り替え、または、光の透過もしくは遮断を行う駆動手段の一例であり、その他の手段を用いても良い。

10

## 【 0 0 4 3 】

2 分岐素子 4 0 1 ~ 4 0 7 として用いる図 5 ( a ) の M Z I 型素子は、位相シフタ ( 駆動手段に対応 ) を駆動しない初期状態で、2 本の光導波路の光学的光路長差は  $\lambda c / 4$  (  $\lambda c$  は波長 ) に設定されている。薄膜ヒータ 2 0 1 に給電した時の光学的光路長差を正、薄膜ヒータ 3 0 1 に給電した時の光学的光路長差を負とし、薄膜ヒータに印加するパワーを変化させた時の M Z I 型素子の出力光強度の変化の様子を図 6 ( a ) に示す。横軸は、光を透過から遮断まで変化させるのに要するスイッチングパワー  $P \pi$  で規格化した印加電力である。スルーは、1 4 1 と 1 4 3 を通したパス、もしくは、1 4 2 と 1 4 4 を通したパス、クロスは、1 4 1 と 1 4 4 を通したパス、もしくは、1 4 2 と 1 4 3 を通したパスである。電力を印加しない初期状態では、入力光は 2 本の出力ポートより 5 0 % ずつ出力される。ここで、 $+ P \pi / 2$  の電力を印加すると、光はスルーポートのみから出力され、クロスポートは遮断される。一方、 $- P \pi / 2$  の電力を印加すると、光はクロスポートのみから出力され、スルーポートは遮断される。

20

## 【 0 0 4 4 】

ゲートスイッチ素子 4 1 1 ~ 4 1 8 として用いる図 5 ( b ) の M Z I 型素子は、位相シフタを駆動しない初期状態で、2 本の光導波路の光学的光路長差は  $\lambda c / 2$  (  $\lambda c$  は波長 ) に設定されている。薄膜ヒータ 2 1 1 に給電した時の光学的光路長差を正、薄膜ヒータ 3 1 1 に給電した時の光学的光路長差を負とし、薄膜ヒータに印加するスイッチングパワーを変化させた時の M Z I 型素子の出力光強度の変化の様子を図 6 ( b ) に示す。電力を印加しない初期状態では、光はスルーポートのみから出力され、クロスポートは遮断される。ここで、 $+ P \pi$  の電力を印加すると、光はクロスポートのみから出力され、スルーポートは遮断される。

30

## 【 0 0 4 5 】

上記 M Z I 型素子の駆動を下記表にまとめる。

## 【 0 0 4 6 】

【表 1】

| (a) 2分岐素子     |            |                 | (b) ゲート素子   |            |                 |
|---------------|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|
| 初 期           | 光路長差       | $\lambda_c / 4$ | 初 期         | 光路長差       | $\lambda_c / 2$ |
|               | スルーポートの光強度 | 0.5             |             | スルーポートの光強度 | 1               |
|               | クロスポートの光強度 | 0.5             |             | クロスポートの光強度 | 0               |
| $+p\pi/2$ 印加時 | 光路長差       | $\lambda_c / 2$ | $+p\pi$ 印加時 | 光路長差       | $\lambda_c$     |
|               | スルーポートの光強度 | 1               |             | スルーポートの光強度 | 0               |
|               | クロスポートの光強度 | 0               |             | クロスポートの光強度 | 1               |
| $-p\pi/2$ 印加時 | 光路長差       | 0               | $-p\pi$ 印加時 | 光路長差       | 0               |
|               | スルーポートの光強度 | 0               |             | スルーポートの光強度 | 0               |
|               | クロスポートの光強度 | 1               |             | クロスポートの光強度 | 1               |

10

## 【0047】

上記で説明したように、2分岐スイッチ素子とゲートスイッチ素子では、駆動に要するパワーが異なる。本発明は、複数のスイッチ素子からなり、少なくとも1つのスイッチ素子（第2のスイッチ素子）は駆動に要するパワーが他のスイッチ素子（第1のスイッチ素子）とは異なる多方路光スイッチにおいて、駆動手段の配線設計を工夫し、簡単に共通駆動できるようにしたものである。

20

## 【0048】

図4(b)において、本回路は、3段の2分岐スイッチ素子401（1段目）、402～403（2段目）、404～407（3段目）と、1段目と2段目の2分岐スイッチ素子を接続する光導波路121、122と、2段目と3段目の2分岐スイッチ素子を接続する光導波路123～126で構成される $1 \times 2^N$ （ $= 1 \times 8$ ）ツリー型スイッチと、 $2^N$ （ $= 8$ ）個の1段ゲート型スイッチ411～418とからなり、 $1 \times 8$ ツリー型スイッチの $2^N$ （ $= 8$ ）個の出力と、 $2^N$ （ $= 8$ ）個の1段ゲート型スイッチの入力が、導波路127～134で接続され、 $2^N$ （ $= 8$ ）個の1段ゲート型スイッチ411～418に8個の出力ポート101～108が接続されている。説明を簡単にするため、図4(a)の一点鎖線で囲った部分（4方路光スイッチ）を取り出し、その詳細な設計図を図7に示す。

30

## 【0049】

本実施形態では、 $1 \times 2^N$ （ $= 1 \times 8$ ）ツリー型スイッチの*i*段目と*j*段目（*i*と*j*は  $1 \leq i < j \leq N$  を満たす整数）のスイッチ素子の駆動手段を直列に接続した。より詳細には、ツリー型スイッチの*i*（ $= 2$ ）段目の2分岐スイッチ素子402の第1の光導波路に形成された薄膜ヒータ202と、ツリー型スイッチの*j*（ $= 3$ ）段目の2分岐スイッチ素子404の第1の光導波路に形成された薄膜ヒータ204が、電極525により直列に接続され、ツリー型スイッチの*i*（ $= 2$ ）段目の2分岐スイッチ素子402の第1の光導波路に形成された薄膜ヒータ202と、ツリー型スイッチの*j*（ $= 3$ ）段目の2分岐スイッチ素子404の第2の光導波路に形成された薄膜ヒータ304が、電極526により直列に接続されている。また、ツリー型スイッチの*i*（ $= 2$ ）段目の2分岐スイッチ素子402の第2の光導波路に形成された薄膜ヒータ302と、ツリー型スイッチの*j*（ $= 3$ ）段目の2分岐スイッチ素子405の第1の光導波路に形成された薄膜ヒータ205が、電極527により直列に接続され、ツリー型スイッチの*i*（ $= 2$ ）段目の2分岐スイッチ素子402の第2の光導波路に形成された薄膜ヒータ302と、ツリー型スイッチの*j*（ $= 3$ ）段目の2分岐スイッチ素子405の第2の光導波路に形成された薄膜ヒータ305が、電極528により直列に接続されている。

40

## 【0050】

図8(a)に、電極と薄膜ヒータの接続関係を示す。本配線の特徴を、出力ポート101から出力される場合で説明する。電極503と電極502は、多方路光スイッチの外部

50

で、電氣的に接続され、グラウンドに接続されている。電極 5 1 6 と電極 5 2 4 は駆動電極チャンネル 1 であり、多方路光スイッチの外部で、電源に接続されている。駆動電極チャンネル 1 に給電すると、2 分岐スイッチ素子 4 0 2 を第 1 のスイッチ素子、ゲートスイッチ素子 4 1 1 を第 1 のスイッチ素子とした時、第 1 のスイッチ素子の駆動手段 2 0 2 と、第 2 のスイッチ素子の駆動手段 3 1 1 が並列に共通駆動される。また、2 分岐スイッチ素子 4 0 4 を第 3 のスイッチ素子とした時、第 3 のスイッチ素子の駆動手段 2 0 4 が、第 1 のスイッチ素子の駆動手段 2 0 2 と直列に駆動される。

#### 【0051】

図 8 (b) にこの時の電気回路図を示す。駆動手段 2 0 2、2 0 4、3 1 1 の抵抗値  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$  をそれぞれ  $R$ 、 $\alpha \cdot R$ 、 $\beta \cdot R$  と置く。直列に接続された駆動手段 2 0 2、2 0 4 に電流  $I_a$ 、 $b = V / [(1 + \alpha) \cdot R]$  を流すと、駆動手段 2 0 2、2 0 4 に印加されるパワーは、それぞれ、 $P_a = V^2 / [(1 + \alpha)^2 \cdot R]$ 、 $P_b = \alpha \cdot V^2 / [(1 + \alpha)^2 \cdot R]$  となる。駆動手段 3 1 1 に電流  $I_c = V / (\beta \cdot R)$  を流すと、印加されるパワーは、 $P_c = V^2 / (\beta \cdot R)$  となる。したがって、印加されるパワーの比率は、 $P_a : P_b : P_c = \beta : (\alpha \cdot \beta) : (1 + \alpha)^2$  である。

#### 【0052】

図 5 のスイッチ素子を駆動するのに要するパワーは、それぞれ  $P_\pi / 2$ 、 $P_\pi$  なので、第 1 および第 3 のスイッチ素子の駆動に要するパワーは  $P_1 = P_\pi / 2$ 、第 2 のスイッチ素子の駆動に要するパワーは  $P_2 = P_\pi$  である。第 1 のスイッチ素子と第 2 のスイッチ素子の駆動手段を共通駆動した時に、配分されるパワーの比率が  $P_1 / P_2 = 1 / 2$  になるようにすれば、本発明の目的とする多方路光スイッチとなる。ここで第 1 および第 3 のスイッチ素子が、同じ設計の 2 分岐素子であるとする、 $\alpha = 1$  である。したがって、 $P_1 / P_2 = 1 / 2 = P_a / P_c$  より、 $\beta = 2$  となるよう設計すれば良い。この時、第 1 から第 3 のスイッチ素子の駆動手段の抵抗値はそれぞれ、 $R_a = R$ 、 $R_b = R$ 、 $R_c = 2R$  で、 $R_a$  と  $R_b$  は夫々  $R_c$  の半分である。

#### 【0053】

以上、説明したように共通駆動することで、駆動電極チャンネル 1 を駆動するだけで、光を出力ポート 1 0 1 より出力させることができた。同様に、駆動電極チャンネル 2 ~ 4 を共通駆動することで、光をそれぞれ出力ポート 1 0 2 ~ 1 0 4 より出力させることができた。このように、光の方路ごとに 1 つの駆動電極に給電するだけで容易に切り替えができ、従来の煩雑な駆動を解消した。

#### 【0054】

なお、駆動手段には抵抗発熱体を用いることができる。

#### 【0055】

(第 2 の実施形態)

第 1 の実施形態では、 $1 \times 8$  光スイッチを構成する  $1 \times 4$  光スイッチに本発明を適用した。本実施形態では、 $1 \times 8$  光スイッチに本発明を適用した場合を説明する。図 9 の多方路光スイッチは、第 1 の実施形態と同じように、 $1 \times 8$  ツリー型スイッチと 1 段ゲート型スイッチからなり、2 方路光スイッチに 2 つの 4 方路光スイッチが接続された光スイッチとみることにもできる。

#### 【0056】

2 方路光スイッチ 4 3 1 は、図 1 0 に示す M Z I 型素子より構成されている。位相シフタを駆動しない初期状態で、2 本の光導波路の光学的光路長差は 0 に設定されている。薄膜ヒータに印加するパワーを変化させた時の M Z I 型素子の出力光強度の変化の様子を図 1 0 (c) に示す。電力を印加しない初期状態では、光はクロスポートのみから出力され、スルーポートは遮断される。ここで、 $\pm P_\pi$  の電力を印加すると、光はスルーポートのみから出力され、クロスポートは遮断される。

#### 【0057】

4 方路光スイッチ部の駆動は第 1 の実施形態で説明したので省略する。薄膜ヒータにパワーを印加しない状態で、光は 2 方路光スイッチ 4 3 1 のクロスポートから出力される。

そのため、図 9 の  $1 \times 8$  光スイッチの出力ポート 101 ~ 104 に出力する場合は、図 11 (a) に示すように 4 方路光スイッチ部の駆動に加えて 2 方路光スイッチ 431 の薄膜ヒータ 201 を並列に接続して共通駆動する。出力ポート 105 ~ 108 に出力する場合は、図 11 (b) に示すように 4 方路光スイッチ部の駆動のみでよい。

#### 【0058】

$1 \times 2^N$  ツリー型スイッチと、M 段ゲート型スイッチとからなる多方路光スイッチにおいて、N が偶数の時は、i 段目と j 段目 (i と j は  $1 \leq i < j \leq N$  を満たす整数) のスイッチ素子の駆動手段を直列に接続し、N / 2 個の直列に接続した駆動手段を、第 2 のスイッチ素子の駆動手段と並列接続して、共通駆動してもよい。一方、本実施形態のように、N が奇数の時は、i 段目と j 段目のスイッチ素子の駆動手段を直列に接続していくと、1 10  
段だけ駆動手段が余る。その場合、本実施形態のように駆動すればよい。

#### 【0059】

(第 3 の実施形態)

$1 \times 2^N$  ツリー型スイッチからなる多方路光スイッチにおいて、N が 3 以上の整数で奇数である時、第 1 と第 2 の実施形態で説明したように、i 段目と j 段目 (i と j は  $1 \leq i < j \leq N$  を満たす整数) のスイッチ素子の駆動手段を直列に接続し (N - 1) / 2 組の直列接続のペアを作ると、N 段目のうちの 1 つのスイッチ素子の駆動手段が余る。そこで、本実施形態では、図 12 (a) に示すように、多方路光スイッチを構成するスイッチ素子の駆動手段とは別に設けた第 3 の駆動手段 611 を、第 1 のスイッチ素子の駆動手段 201 20  
に直列に接続する。

#### 【0060】

図 13 に、電極と駆動手段の接続関係を示す。本実施形態では、N が 3 の場合を説明する。 $1 \times 8$  ツリー型スイッチの 2 段目と 3 段目のスイッチ素子の駆動手段 302 と 205 を電極 527 で直列に接続し、駆動手段 302 のもう一方の電極 502 をグラウンド線、駆動手段 205 のもう一方の電極 514 を給電線とした (符号は図 7 (a) を参照)。 $1 \times 8$  ツリー型スイッチの 1 段目のスイッチ素子を第 1 のスイッチ素子 401 とし、第 1 のスイッチ素子 401 の駆動手段 201 につながる一方の電極 501 はグラウンド線、他方の電極 508 は、第 3 の駆動手段 611 の一方の電極 533 に接続した。第 3 の駆動手段 611 の他方の電極 534 は、給電線とした。そして、電極 514 と電極 534 は並列に接続し、電源に接続した。 30

#### 【0061】

また、第 1 と第 2 の実施形態の多方路光スイッチのように、 $1 \times 8$  ツリー型スイッチの後段に、ゲート型スイッチを接続しても良い。図 4 (b) の入力ポート 100 から光を入力し、出力ポート 103 から光を出力する場合を説明する。図 13 に示すように、直列に接続された 2 分岐素子 401 の駆動手段 201 と第 3 の駆動手段 611 と、直列に接続された 2 分岐素子 402 の駆動手段 302 と 2 分岐素子 405 の駆動手段 205 と、ゲート素子 413 の駆動手段 313 が、並列接続されるよう、電極 534、514、522 をつなぎ、電源に接続した。第 1 の実施形態と同様に、駆動手段 302 と 205 は、抵抗値 R の抵抗発熱体を用い、駆動手段 313 は、抵抗値  $2 \cdot R$  の抵抗発熱体を用いた。ここで、第 1 のスイッチ素子 401 の駆動手段 201 の抵抗値を  $R_1$ 、第 2 のスイッチ素子 413 の駆動手段 313 の抵抗値を  $R_2$  とすると、第 3 の駆動手段 611 として、抵抗値  $R_3 = R_2 - R_1$  の抵抗体を用いた。すなわち、第 3 の駆動手段 611 として、 $R_1$  と  $R_3$  の和が、 $R_2$  と等しくなるような抵抗体を用いれば、第 1 のスイッチ素子に配分されるパワーと第 2 のスイッチ素子に配分されるパワーの比率が  $P_1 / P_2$  になるよう共通駆動できる。 40

#### 【0062】

以上のような構成にすることにより、 $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチからなる多方路光スイッチにおいて、N が 3 以上の整数で奇数であるときでも、1 方路につき 1 チャネルの駆動で切り替えのできる多方路光スイッチを実現した。

#### 【0063】

10

20

30

40

50

## (第4の実施形態)

第1から第3の実施形態では、多方路光スイッチ上で、一部の駆動手段の電極が互いに接続されていたが、図14に示す本発明の第4の実施形態における多方路光スイッチのように、電極を多方路光スイッチ外部に取り出し、図15に示すように、外部で電氣的に接続し、共通駆動しても良い。

## 【0064】

また、図14(b)に示すように、MZI型素子の第1の導波路に形成された薄膜ヒータ211、212を駆動し、光の遮断と透過を切り替えても良いし、MZI型素子の第2の導波路に形成された薄膜ヒータ313、314を駆動し、光の遮断と透過を切り替えても良い。

10

## 【0065】

## (第5の実施形態)

第1の実施形態で示した図8(a)では、駆動するチャンネルを切り替える時に、電極を2本ずつ電源に接続した。このとき、例えば駆動電極チャンネル1を駆動する場合は、電極516と524は接続されるが、電極515と523が接続されていないように注意する必要がある。そうでなければ、駆動電極チャンネル1に流した電流が、薄膜ヒータ304と312を通して流れてしまう。

## 【0066】

そこで、図16に示すように、第3のスイッチ素子の駆動手段と電源の間、または、図示しないが、第3のスイッチ素子の駆動手段と第1のスイッチ素子の駆動手段の間に、それぞれダイオードを挿入した。このようにスイッチ素子の駆動経路にダイオードを挿入すれば、電流の逆流が防止され、電極524と516、電極515と523、電極522と514、電極513と521を電氣的に接続しても、電流の逆流を防ぐことができる。

20

## 【0067】

## (第6の実施形態)

図17に示すように、 $2 \times 1$ の電気スイッチ631を用い、駆動電極チャンネル1～4の駆動時に、それぞれ電極524と516、電極515と523、電極522と514、電極513と521を電源601に電氣的に接続すれば、1つの電源のみで共通駆動でき、駆動経路を切り替えることができる。

## 【0068】

30

## (第7の実施形態)

図18に、本発明の第7の実施形態における多方路光スイッチを示す。本実施形態の多方路光スイッチの回路構成は、図4(b)において、2分岐スイッチ素子401の出力の導波路121と122につながる二つの4方路光スイッチのうち、導波路122につながる4方路光スイッチと同じ導波路構成である。異なるのは、駆動手段の接続設計である。

## 【0069】

本実施形態では、多段に接続された多方路光スイッチにおいて、 $i$ 段目の第1のスイッチ素子と $j$ 段目の第2のスイッチ素子の駆動手段を直接に接続した。

## 【0070】

40

$1 \times 2^N$  ツリー型スイッチと $M$ 段ゲート型スイッチからなる多方路光スイッチの場合を詳細に説明する。 $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの $i$ 段目( $1 \leq i \leq N-1$ )の2分岐スイッチ素子403の第1の導波路に形成された駆動手段203と、 $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの $i+1$ 段目の2分岐スイッチ素子406の第1と第2の導波路に形成された駆動手段206と306が、電極529、530により直接に接続されており、 $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの $i$ 段目の2分岐スイッチ素子403の第2の導波路に形成された駆動手段303と、 $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの $i+1$ 段目の2分岐スイッチ素子407の第1と第2の導波路に形成された駆動手段207と307が、電極531、532により直列に接続されている。図18は $N=2$ の場合であるが、 $N=3$ 以上の場合も同様の接続を行えばよい。続いて、 $1 \times 2^N$  ツリー型スイッチの $N$ 段目にある、 $2^{N-1}$ 個の2分岐素子の第1と第2の導波路に形成された駆動手段206と306、207と307が、 $2^{N-1}$ 個の2分岐

50

素子の出力につながる  $2^N$  個の M 段ゲート型スイッチの 1 段目のゲートスイッチ素子 4 1 5 ~ 4 1 8 の駆動手段 3 1 5、3 1 6、2 1 7、2 1 8 に、電極 5 1 2、5 1 1、5 1 0、5 0 9 により直列に接続されている。図 1 8 は  $M = 1$  の場合であるが、 $M$  が 2 以上の場合、M 段ゲート型スイッチの  $j$  段目 ( $1 \leq j \leq M - 1$ ) のゲートスイッチ素子の駆動手段と  $j + 1$  段目のゲートスイッチ素子の駆動手段を直列に接続すればよい。

#### 【0071】

図 1 9 (a) に、電極と駆動手段として薄膜ヒータの接続関係、図 1 9 (b) に電気回路図を示す。1 2 2 から入力した光を 1 0 7 に出力する場合を説明する。駆動手段 3 0 3、2 0 7、2 1 7 の抵抗値  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$  をそれぞれ  $R$ 、 $\alpha \cdot R$ 、 $\beta \cdot R$  と置く。直列に接続された駆動手段 3 0 3、2 0 7、2 1 7 に電流  $I = V / [(1 + \alpha + \beta) \cdot R]$  を流すと、駆動手段 3 0 3、2 0 7、2 1 7 に印加されるパワーは、それぞれ、 $P_a = I^2 \cdot R$ 、 $P_b = I^2 \cdot \alpha \cdot R$ 、 $P_c = I^2 \cdot \beta \cdot R$  となる。ただし、電圧源で電圧  $V$  をかけた時に流れる電流を  $I$ 、もしくは、電流源で電流  $I$  を流した時にかかる電圧を  $V$  とした。したがって、印加されるパワーの比率は、 $P_a : P_b : P_c = 1 : \alpha : \beta$  である。すなわち、 $P_a / P_c = R_a / R_c = 1 / \beta$  である。

#### 【0072】

ここで、 $\alpha$  と  $\beta$  は任意であるが、どの方路に切り替えるにも消費されるパワーが一定となる多方路光スイッチを実現するには、第 1 のスイッチ素子として図 5 (a) に示す M Z I 型 2 分岐スイッチ素子、第 2 のスイッチ素子として図 5 (b) に示す M Z I 型ゲートスイッチ素子を用い、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 2$  に設定すれば良い。この時、 $R_a / R_c = 1 / 2$  である。消費パワーは、光を出力するポートに寄らず、 $P = 4 \cdot I^2 \cdot R$  である。

#### 【0073】

以上、説明したように共通駆動することで、電源チャネル 3 を駆動するだけで、光を出力ポート 1 0 7 より出力させることができた。同様に、電源チャネル 1、2、4 を共通駆動することで、光をそれぞれ出力ポート 1 0 5、1 0 6、1 0 8 より出力させることができた。このように、1 つの駆動のみで 1 方路の選択ができる多方路光スイッチを実現した。

#### 【0074】

(第 8 の実施形態)

図 2 0 に、本発明の第 8 の実施形態における多方路光スイッチを示す。回路構成は  $1 \times 2^N$  ( $N = 2$ ) ツリー型スイッチと M 段 ( $M = 2$ ) ゲート型スイッチからなる多方路光スイッチである。これまでの実施形態と異なるのは、スイッチ素子の一部を、遮断から透過まで光強度を連続的に可変にした可変光アッテネータとして用いたことである。

#### 【0075】

どのスイッチ素子を用いても良いが、M 段ゲート型スイッチの  $j$  段目 ( $1 \leq j \leq M$ ) のゲートスイッチ素子を可変光アッテネータとして機能させた。図 6 (b) に示すように、初期状態では、クロスポートの光は遮断され、光強度は 0 であるが、駆動手段にパワーをかけると、光強度は 0 から 1 まで連続的に変化し、 $P_{\pi}$  のパワーで光は透過する。

#### 【0076】

また、例えば、図 2 1 に示すように、 $1 \times 2^N$  ( $N = 2$ ) ツリー型スイッチと M 段ゲート型スイッチの  $M - 1$  段目までの駆動手段を、方路切り替え用として共通駆動し、M 段ゲート型スイッチの M 段目の駆動手段を、光強度調整用として駆動させても良い。さらに、第 1 の実施形態で説明したように、方路の切り替えごとに、使用する電極を共通化し、電源を接続しても良いし、第 5 の実施形態で説明したように、ダイオードを備えても良いし、第 6 の実施形態で説明したように、共通化した電極を電気スイッチで切り替え、駆動しても良い。図 2 1 では、4 チャネルの  $2 \times 1$  電気スイッチ 6 3 1 と、4 チャネルの  $1 \times 1$  電気スイッチ 6 3 2 を用いた。

#### 【0077】

本実施形態では、M 段ゲート型スイッチの、M 段目のゲートスイッチ素子の駆動手段のみを独立させ、方路切り替えの駆動手段とは独立させて、光強度を調整したが、どのス

10

20

30

40

50

ツチ素子を可変光アッテネータとしても良いし、１段目からＭ段目までの複数のスイッチ素子を同時に駆動し、光強度可変にしても良い。

【００７８】

（第９の実施形態）

図２２に示す本発明の第９の実施形態における多方路光スイッチは、平面基板上に形成され、２分岐スイッチ素子で構成される $1 \times 2^N$ （ $N = 1$ ）ツリー型スイッチ４３４と、タップスイッチ（４１１と４１２）がＭ段（ $M = 2$ ）従属に接続された、 $2^N$ （ $= 2$ ）個のＭ段タップ型スイッチ（４３６）とからなり、 $1 \times 2$ ツリー型スイッチの２個の出力に、それぞれ２段タップ型スイッチが接続されている。そして、２個の２段タップ型スイッチを構成するタップスイッチ素子４１１、４１２、４１３、４１４に、それぞれゲートスイッチ素子４１９、４２０、４２１、４２２が接続され、これらゲートスイッチ素子に $2^N \times M$ （ $= 4$ ）個の出力ポート１０１～１０４が接続されている。

10

【００７９】

本実施形態では、第３の実施形態で説明したように、２分岐素子４３４の駆動手段に、第３の駆動手段を直列に接続している。本実施形態では、駆動手段として平面基板上に形成された薄膜ヒータを用いた。

【００８０】

また、第３の駆動手段は、スイッチ素子から離れた位置に形成した。第３の駆動手段の熱により、スイッチ素子の駆動に影響が無いようにするためである。また、薄膜ヒータの近傍に断熱溝を形成し、熱クロストークの抑制、消費電力の低減を行っても良い。

20

【００８１】

さらに、本実施形態では、グラウンド線を平面基板上で共通化し、電極数を減らすことで、多方路光スイッチを小型にした。

【００８２】

さらにまた、本実施形態では、第４の実施形態で説明したように、電極を多方路光スイッチ外部に取り出し、外部で電氣的に接続した。電極を外部に取り出すため、平面基板上に電極端子を形成し、電極端子５５１、５５４、５５７、５６０をグラウンド線、電極端子５５２、５５３、５５５、５５６、５５８、５５９、５６１～５６４を給電線とした。

【００８３】

本実施形態では、 $2^N$ （ $= 2$ ）個のＭ（ $= 2$ ）段タップ型スイッチに $2^N \times M$ （ $= 4$ ）個のゲートスイッチ素子４１９、４２０、４２１、４２２を通して出力したが、ゲートスイッチ素子を用いず、タップ型スイッチから直接出力してもよい。

30

【００８４】

（第１０の実施形態）

図２３に示す本発明の第１０の実施形態における多方路光スイッチは、平面基板上に形成され、２分岐スイッチ素子で構成される $1 \times 2^N$ （ $N = 2$ ）ツリー型スイッチ４３４と、タップスイッチ素子（４１１と４１２）がＭ段（ $M = 2$ ）従属に接続された、 $2^N$ （ $= 4$ ）個のＭ段タップ型スイッチ（４３６）とからなり、 $1 \times 2$ ツリー型スイッチの４個の出力に、それぞれ２段タップ型スイッチが接続されている。そして、４個の２段タップ型スイッチを構成するタップスイッチ素子４１１～４１８に、それぞれゲートスイッチ素子４１９～４２６が接続され、これらゲートスイッチ素子に $2^N \times M$ （ $= 8$ ）個の出力ポートが接続されている。

40

【００８５】

（第１１の実施形態）

図２４に示す本発明の第１１の実施形態における多方路光スイッチは、多方路光スイッチが複数、平面基板上に形成されている。

【００８６】

多方路光スイッチ４３１、４３２、４３３は、Ｎ段（ $N = 1$ ）の２分岐スイッチ素子で構成される $1 \times 2$ ツリー型スイッチ４３４と、ゲートスイッチ素子がＭ段（ $M = 2$ ）従属に接続された、 $2^N$ （ $= 2$ ）個の２段ゲート型スイッチ４３５とからなり、 $1 \times 2$ ツリー

50

型スイッチの２個の出力と、２個の２段ゲート型スイッチの入力とがそれぞれ導波路で接続され、２個の２段ゲート型スイッチに、２個の出力ポートが接続されている。

【００８７】

本実施形態では、同じ構成の多方路光スイッチを複数、平面基板上に並べたが、異なる構成の多方路光スイッチを平面基板上に集積しても良いし、同一回路構成の多方路光スイッチを複数形成し、互いに電極設計が異なるようにしても良い。また、多方路光スイッチとは異なる光回路を平面基板上に集積しても良い。

【００８８】

（第１２の実施形態）

第９～１１の実施形態で述べた平面型光回路は、図２５に示すように作製した。平面基板１６１上に火炎堆積法で $\text{SiO}_2$ を主体にした下部クラッドガラススート１６２、 $\text{SiO}_2$ に $\text{GeO}_2$ を添加したコアガラススート１６３を堆積した。（（ａ））。その後、１０００以上の高温でガラス透明化を行った。この時に、下部クラッドガラス層１６４、コアガラス１６５は設計した厚さとなるように、ガラスの堆積を行った（（ｂ））。引き続き、フォトリソグラフィ技術を用いてコアガラス１６５上にエッチングマスク１６６を形成し（（ｃ））、反応性イオンエッチングによってコアガラス１６５のパターン化を行った（（ｄ））。エッチングマスク１６６を除去した後、上部クラッドガラス１６７を再度火炎堆積法で形成した。上部クラッドガラス１６７には $\text{B}_2\text{O}_3$ や $\text{P}_2\text{O}_5$ などのドーパントを添加してガラス転移温度を下げ、それぞれのコアガラス１６５とコアガラス１６５の狭い隙間にも上部クラッドガラス１６７が入り込むようにした（（ｅ））。続いて、上部クラッド１６７の上面に $\text{Au}$ の電気配線と電極端子、及び窒化タンタルの薄膜ヒータを形成し、電極端子の開口部を除く領域を石英の絶縁膜で覆った。電気配線と電極端子は $\text{Au}$ で、薄膜ヒータは窒化タンタルで形成したが、その他の材料を用いても良い。また、窒化タンタル上に $\text{Au}$ を形成するなど、２種類以上の材料を用いて電気配線や電極端子を作製しても良い。電気配線層を作製した後、薄膜ヒータ近傍に断熱溝（図示せず）を形成した。

【００８９】

上記で述べた平面型光回路は、主にシリコン基板上的石英系ガラス導波路を用いた例を示したが、その導波路材料がポリイミド、シリコン、半導体、 $\text{LiNbO}_3$ などであってもよい。また、例えばその製造方法が、スピンコート法、ゾルゲル法、スパッタ法、ＣＶＤ法、イオン拡散法、イオンビーム直接描画法などであっても本発明は適用可能である。また、基板もシリコンに限定するものではなく、石英などその他の材料を用いても良い。また、駆動手段として、薄膜ヒータを用いた熱光学効果を利用したが、電気光学効果、磁気光学効果など、その他の手段を用いても良い。

【００９０】

各実施形態では、多方路光スイッチを構成するスイッチ素子として、ＭＺＩ型素子を用いる場合を説明したが、任意のスイッチ素子を用いることができる。また、ＭＺＩ型素子のそれぞれは、２入力２出力の光分波器と、２入力２出力の光合波器と、これら光分波器と光合波器に挟まれた第１および第２の光導波路と、第１および第２の光導波路に形成された駆動手段により形成したが、ＭＺＩ型素子の構成はこれに限定されない。例えば、光分波器と光合波器は、異なる種類のものを用いることができる。また、例えば、入力光を２分波する光分波器として、２入力２出力の光分波器の代わりにＹ分岐型の光分波器を用いたＭＺＩ型素子でも、２分岐素子として同様に駆動させることができる。また、光分波器として１入力２出力のＹ分岐、光合波器として２入力１出力のＹ分岐を用いたＭＺＩ型素子をゲートスイッチ素子として用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【００９１】

【図１】従来技術における多方路スイッチの構成を示す図である。

【図２】（ａ）は、従来技術における多方路スイッチを構成する２分岐スイッチを、（ｂ）は、ゲートスイッチ素子を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 3】(a) は、従来技術における薄膜ヒータの配線接続設計図を、(b) は、概念図を示す図である。

【図 4】(a) は、第 1 の実施形態における多方路スイッチの電気配線設計図を、(b) は、光スイッチ構成を示す図である。

【図 5】(a) は、第 1 の実施形態における多方路スイッチを構成する 2 分岐スイッチを、(b) は、ゲートスイッチ素子を示す図である。

【図 6】(a) は、第 1 の実施形態における多方路スイッチを構成する 2 分岐スイッチの光強度を、(b) は、ゲートスイッチ素子の光強度を示す図である。

【図 7】(a) および (b) は、第 1 の実施形態における多方路スイッチの配線の詳細を示す図である。

10

【図 8】(a) は、第 1 の実施形態における薄膜ヒータの配線接続設計図を、(b) は、概念図を示す図である。

【図 9】第 2 の実施形態における多方路スイッチを示す図である。

【図 10】(a) は、第 2 の実施形態における多方路スイッチを構成する 2 分岐スイッチ素子の拡大図を、(b) は、2 分岐スイッチ素子の概略図を、(c) は、2 分岐スイッチ素子の光強度を示す図である。

【図 11】(a) および (b) は、第 2 の実施形態における薄膜ヒータの配線接続設計図である。

【図 12】(a) および (b) は、第 3 の実施形態における電気配線設計図である。

【図 13】第 3 の実施形態における薄膜ヒータの配線接続設計図である。

20

【図 14】第 4 の実施形態における多方路スイッチの配線の詳細を示す図である。

【図 15】第 4 の実施形態における配線接続を示す図である。

【図 16】第 5 の実施形態における配線接続を示す図である。

【図 17】第 6 の実施形態における配線接続を示す図である。

【図 18】第 7 の実施形態における多方路スイッチを示す図である。

【図 19】(a) は、第 7 の実施形態における薄膜ヒータの配線接続設計図であり、(b) は、概念図を示す図である。

【図 20】第 8 の実施形態における電気配線設計図を示す図である。

【図 21】第 8 の実施形態における配線接続を示す図である。

【図 22】第 9 の実施形態における多方路スイッチを示す図である。

30

【図 23】第 10 の実施形態における多方路スイッチを示す図である。

【図 24】第 11 の実施形態における多方路スイッチを示す図である。

【図 25】平面基板上に形成された多方路スイッチの製造工程を示す図である。

【符号の説明】

【0092】

100、101、102、103、104、105、106、107、108 入力／出力ポート

111、112 光カプラ

121、122、123、124、125、126、127、128、129、130、131、132、133、134 導波路

40

141、142、143、144 入力／出力ポート

145、146 導波路

161 平面基板

162 下部クラッドガラスシート

163 コアガラスシート

164 下部クラッドガラス

165 コアガラス

166 エッチングマスク

167 上部クラッドガラス

201、202、203、204、205、206、207 2 分岐スイッチのヒータ

50

1

2 1 1、2 1 2、2 1 7、2 1 8 ゲートスイッチのヒータ 1

3 0 1、3 0 2、3 0 3、3 0 4、3 0 5、3 0 6、3 0 7 2 分岐スイッチのヒータ

2

3 1 1、3 1 2、3 1 3、3 1 4、3 1 5、3 1 6 ゲートスイッチのヒータ 2

4 0 1、4 0 2、4 0 3、4 0 4、4 0 5、4 0 6、4 0 7 2 分岐素子

4 1 1、4 1 2、4 1 3、4 1 4、4 1 5、4 1 6、4 1 7、4 1 8、4 1 9、4 2 0  
、4 2 1、4 2 2、4 2 3、4 2 4、4 2 5、4 2 6 ゲート素子、または、タップスイ  
ッチ素子

4 3 0 4 方路光スイッチ

10

4 3 1 4 3 2、4 3 3 2 方路光スイッチ

4 3 4 ツリー型スイッチ

4 3 5 ゲート型スイッチ

4 3 6 タップ型スイッチ

5 0 1、5 0 2、5 0 3、5 0 4、5 0 5、5 0 6、5 0 7、5 0 8、5 0 9、5 1 0  
、5 1 1、5 1 2、5 1 3、5 1 4、5 1 5、5 1 6、5 1 7、5 1 8、5 1 9、5 2 0  
、5 2 1、5 2 2、5 2 3、5 2 4、5 2 5、5 2 6、5 2 7、5 2 8、5 2 9、5 3 0  
、5 3 1、5 3 2、5 3 3、5 3 4、5 3 5、5 3 6、5 3 7、5 3 8、6 3 9、5 4 0  
、5 4 1、5 4 2 電極5 5 1、5 5 2、5 5 3、5 5 4、5 5 5、5 5 6、5 5 7、5 5 8、5 5 9、5 6 0  
、5 6 1、5 6 2、5 6 3、5 6 4 電極端子

20

6 0 1、6 0 2、6 0 3、6 0 4 電源

6 1 1、6 1 2 外部抵抗

6 2 1、6 2 2、6 2 3、6 2 4 ダイオード

6 3 1、6 3 2 電気スイッチ

9 0 0、9 0 1、9 0 2、9 0 3、9 0 4、9 0 5、9 0 6、9 0 7、9 0 8 入力/  
出力ポート

9 0 9、9 1 0 光カプラ

9 9 0、9 9 1、9 9 2、9 9 3 入力/出力ポート

9 9 4 第 1 の導波路

30

9 9 5 第 2 の導波路

9 1 1、9 1 2、9 1 3、9 1 4、9 1 5、9 1 6、9 1 7 2 分岐素子

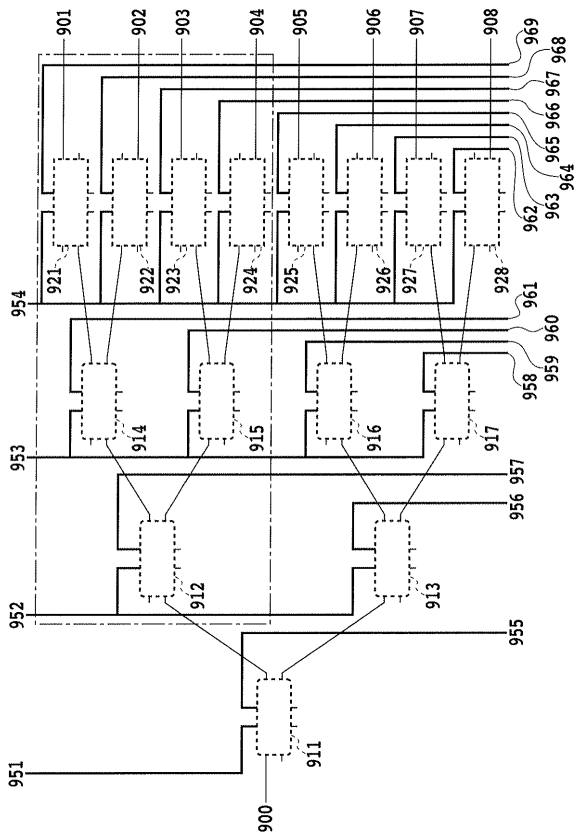
9 2 1、9 2 2、9 2 3、9 2 4、9 2 5、9 2 6、9 2 7、9 2 8 ゲート素子

9 5 1、9 5 2、9 5 3、9 5 4、9 5 5、9 5 6、9 5 7、9 5 8、9 5 9、9 6 0  
、9 6 1、9 6 2、9 6 3、9 6 4、9 6 5、9 6 6、9 6 7、9 6 8、9 6 9 電極

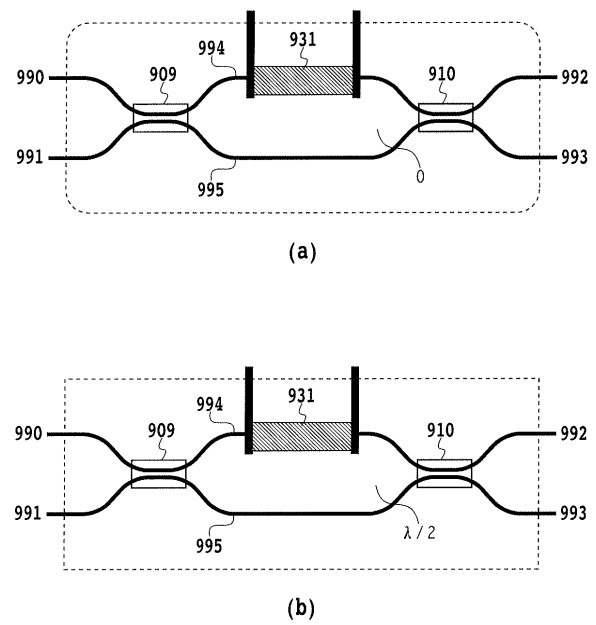
9 3 1、9 3 2、9 3 4、9 3 5、9 4 1、9 4 2、9 4 3、9 4 4 ヒータ

9 7 1、9 7 2、9 7 3 電気デジタルスイッチ

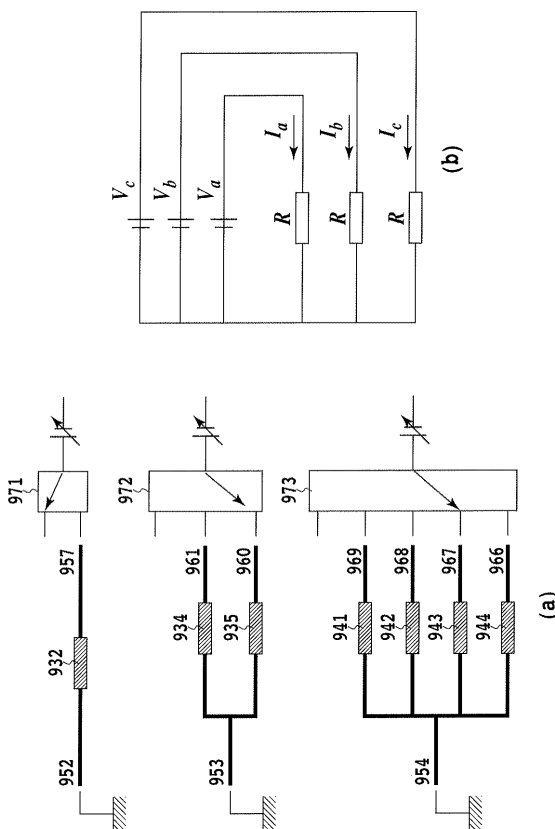
【図 1】



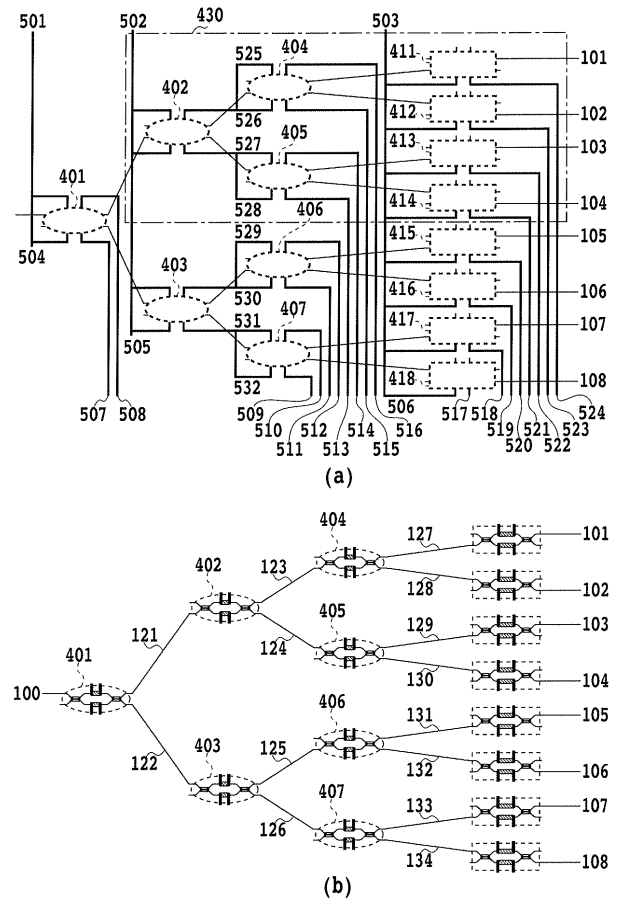
【図 2】



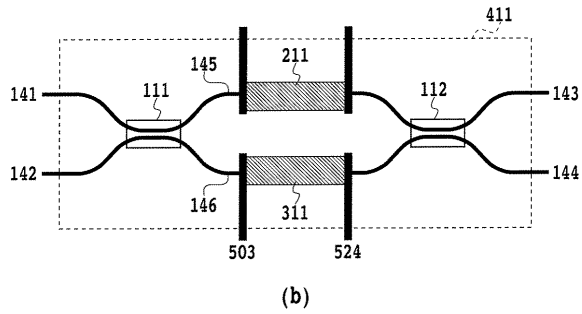
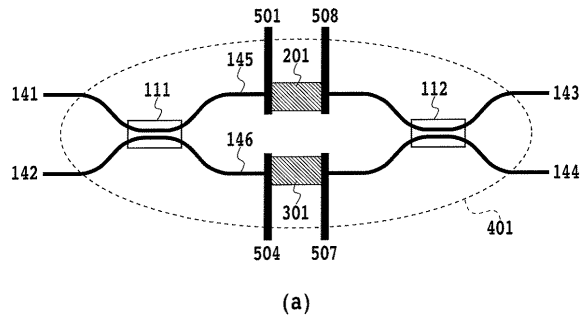
【図 3】



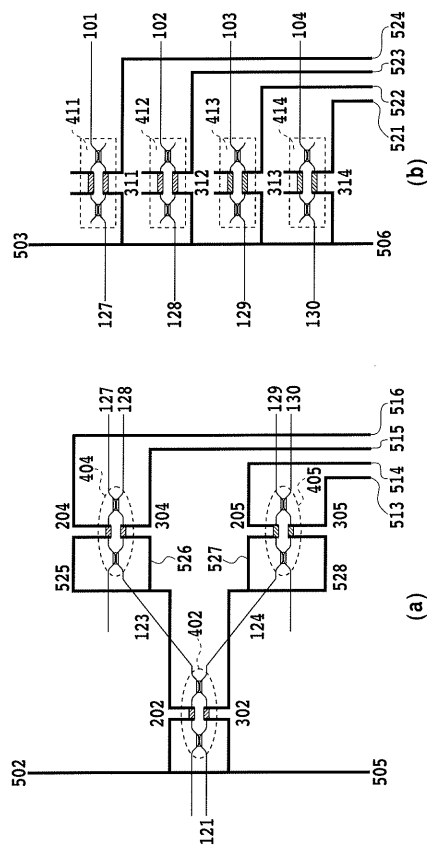
【図 4】



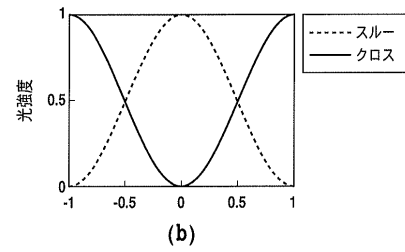
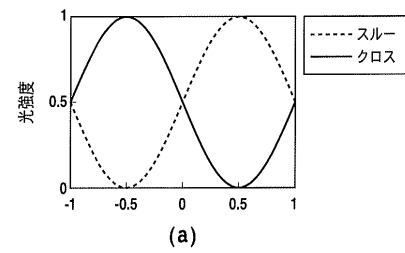
【図 5】



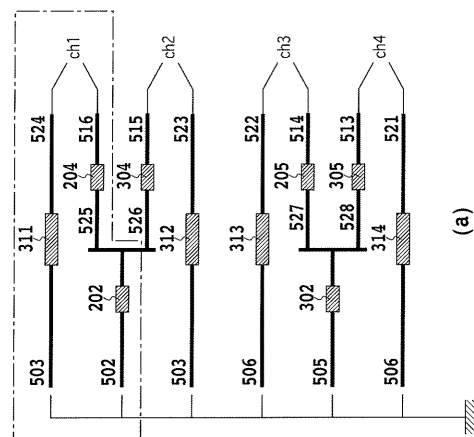
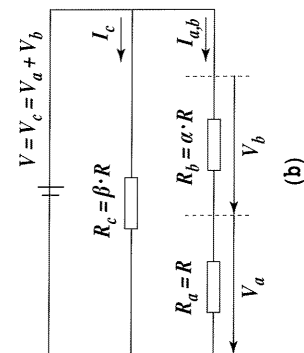
【図 7】



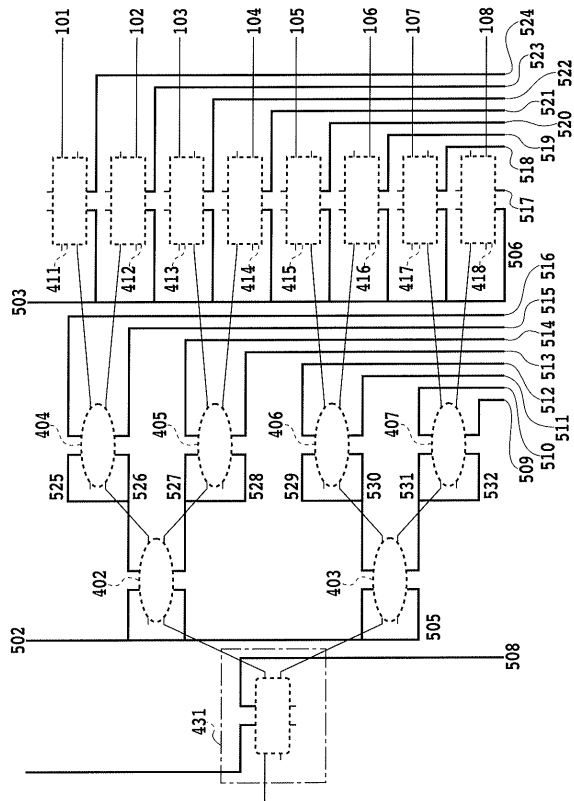
【図 6】



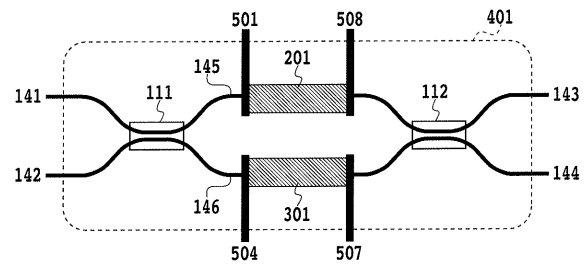
【図 8】



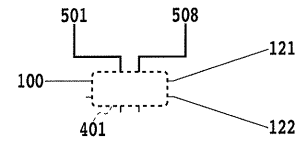
【図 9】



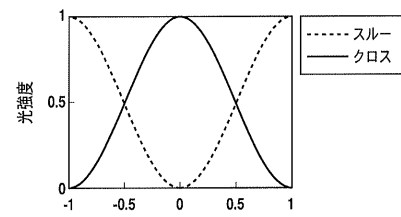
【図 10】



(a)

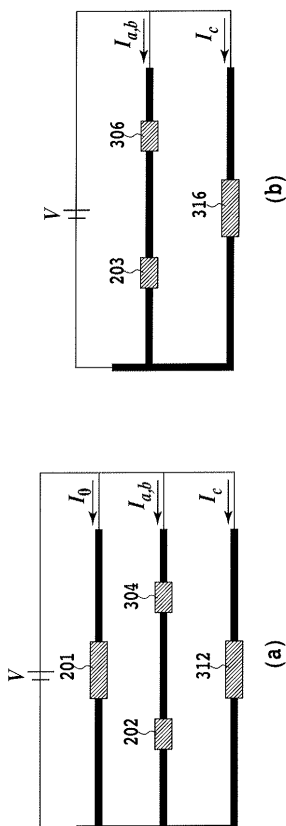


(b)

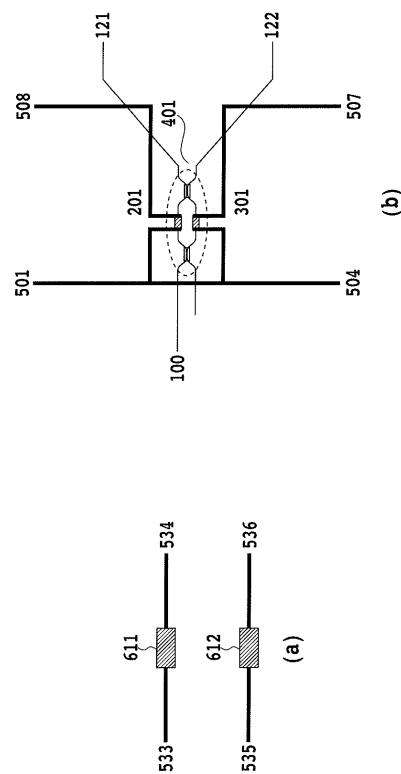


(c)

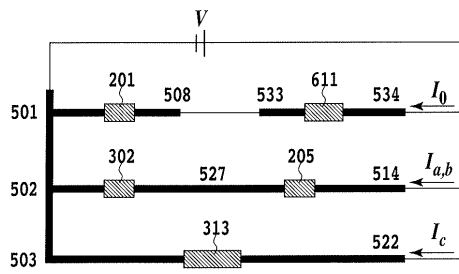
【図 11】



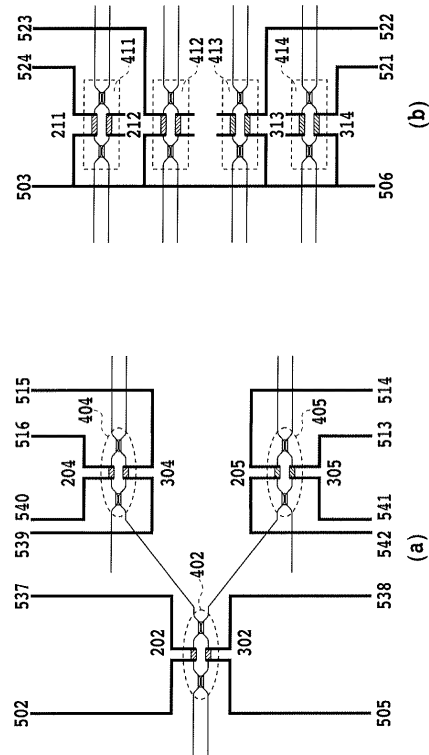
【図 12】



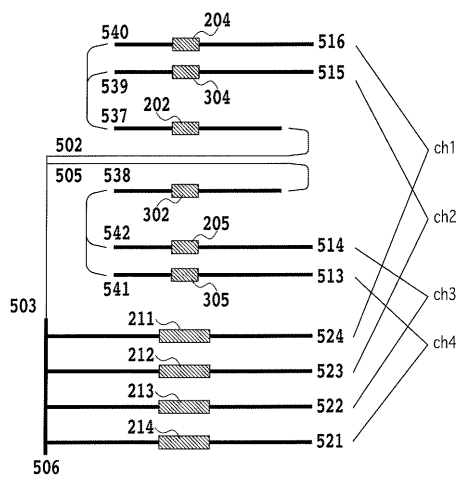
【図 1 3】



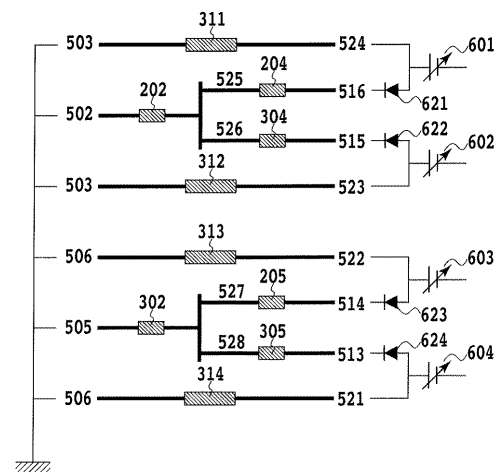
【図 1 4】



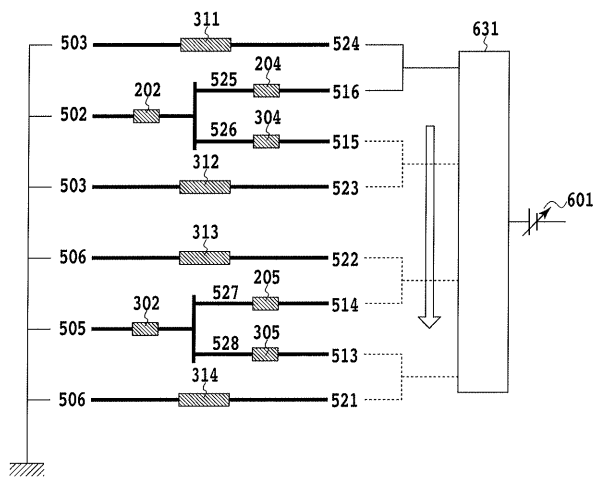
【図 1 5】



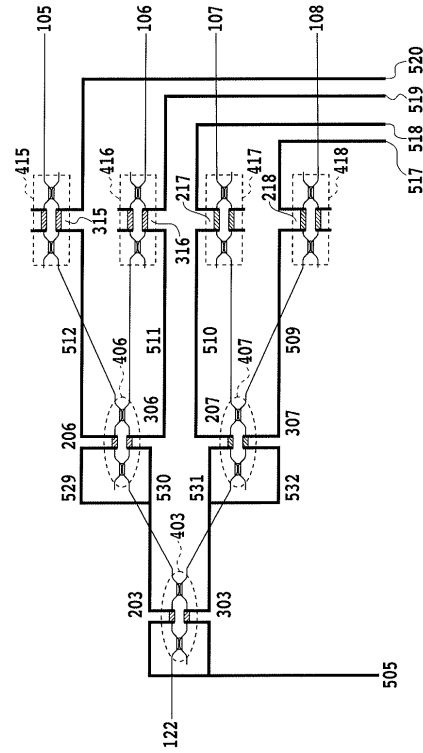
【図 1 6】



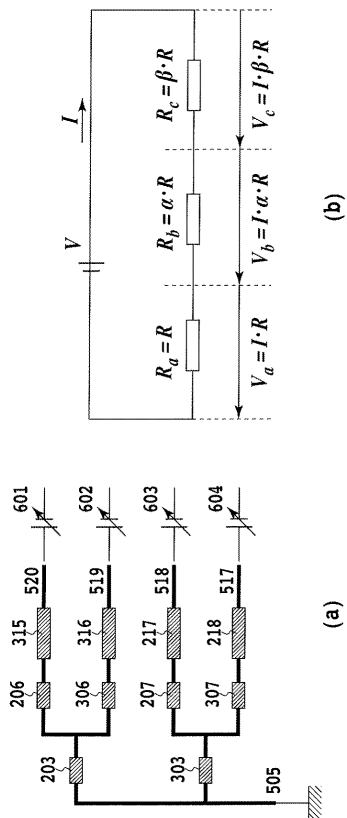
【図 17】



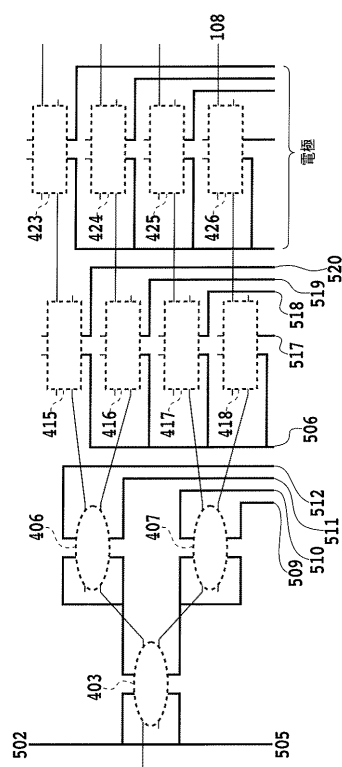
【図 18】



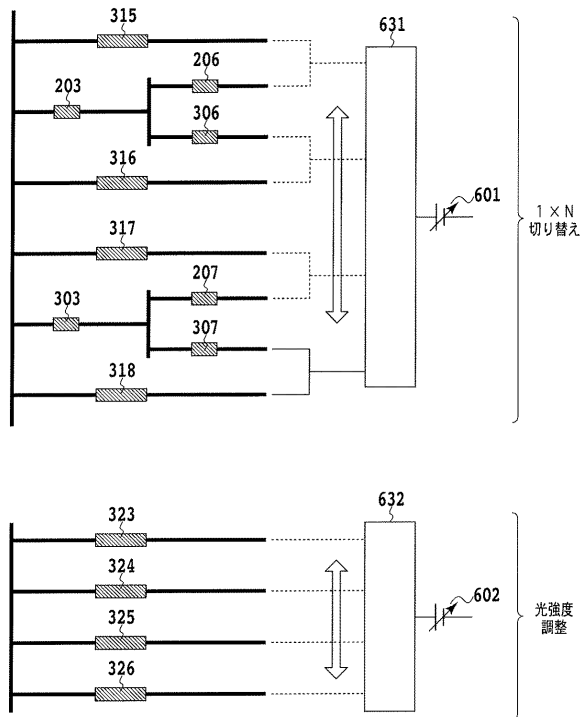
【図 19】



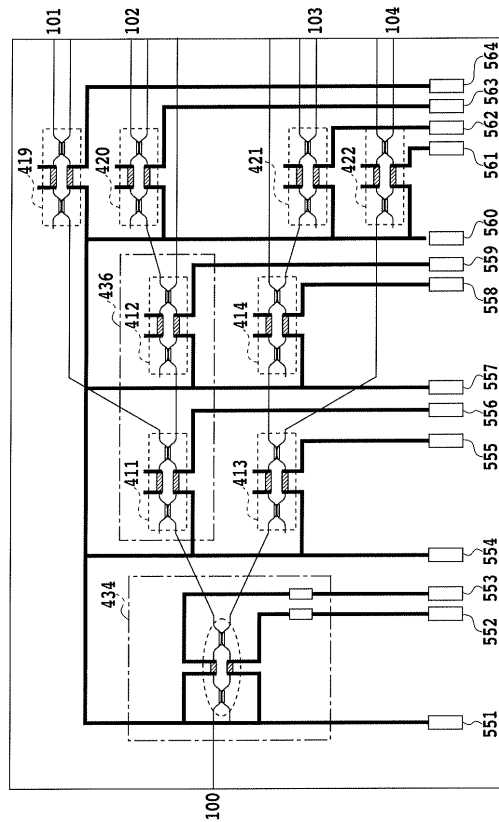
【図 20】



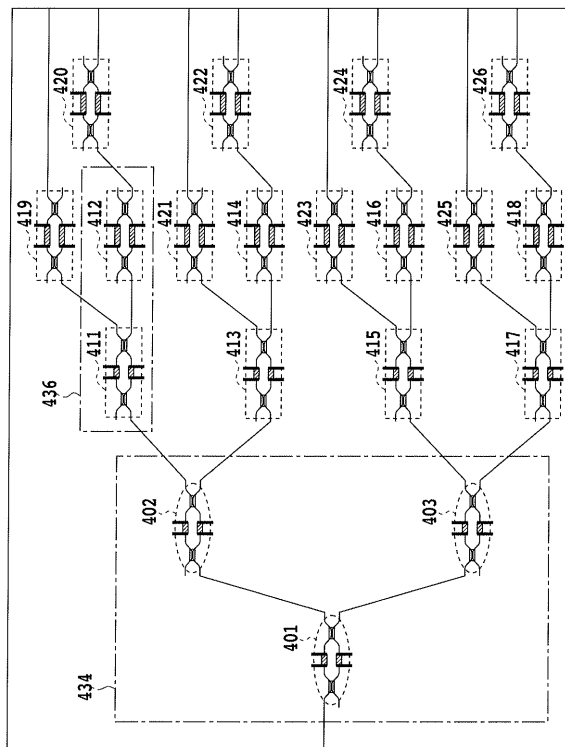
【図 2 1】



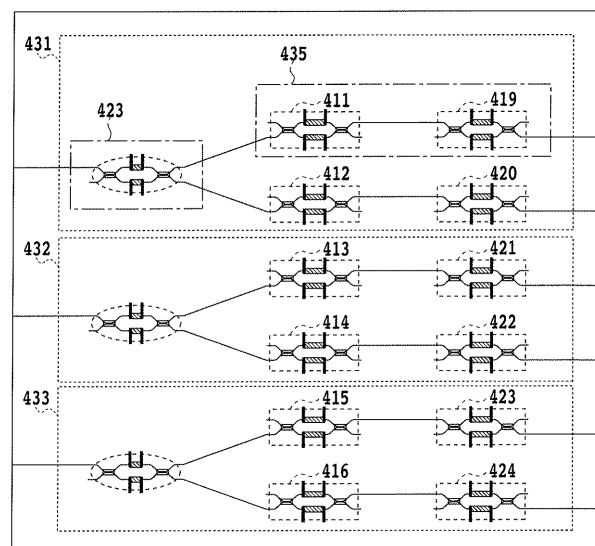
【図 2 2】



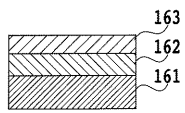
【図 2 3】



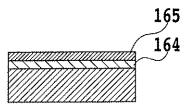
【図 2 4】



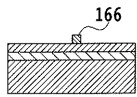
## 【 図 25 】



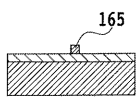
(a)



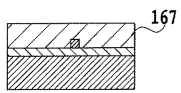
(b)



(c)



(d)



(e)

---

フロントページの続き

(72)発明者 大山 貴晴

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 金子 明正

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2K002 AA02 AB05 BA13 CA15 DA07 DA08 EA10 EA14 FA01 FA17  
HA11