

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2013年8月22日(22.08.2013)

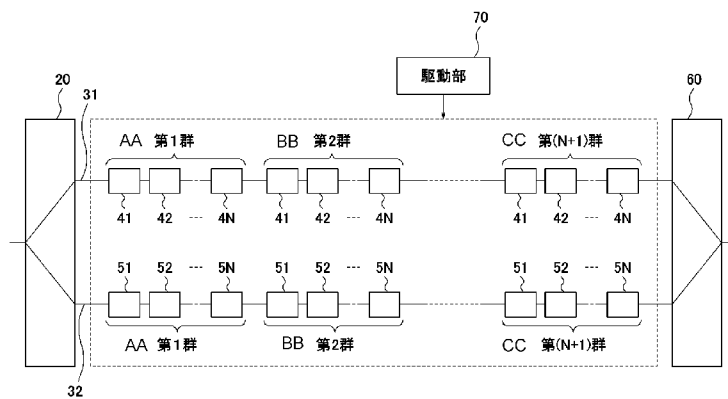


(10) 国際公開番号  
WO 2013/121747 A1

- (51) 国際特許分類:  
G02F 1/01 (2006.01) H04B 10/61 (2013.01)  
H04B 10/516 (2013.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/000664
  - (22) 国際出願日: 2013年2月7日(07.02.2013)
  - (25) 国際出願の言語: 日本語
  - (26) 国際公開の言語: 日本語
  - (30) 優先権データ:  
特願 2012-028605 2012年2月13日(13.02.2012) JP
  - (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社(NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
  - (72) 発明者; および
  - (71) 出願人(米国についてのみ): 佐藤 健二(SATO, Kenji) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
  - (74) 代理人: 下坂 直樹(SHIMOSAKA, Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
  - (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
  - (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: OPTICAL MODULATOR AND OPTICAL MODULATION METHOD

(54) 発明の名称: 光変調器および光変調方法



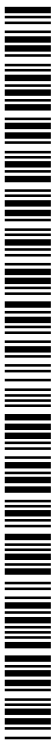
光変調器 10

- 10 Optical modulator
- 70 Drive unit
- AA First group
- BB Second group
- CC (N+1)<sup>th</sup> group

(57) Abstract: This optical modulator (10) is equipped with: an optical demultiplexing means (20); a first optical waveguide (31), to which one of the demultiplexed light signals is input, and in which N first electrodes (41-4N) that advance the phase of the light signal during a first application state are arranged in (N+1) groups; a second optical waveguide (32), to which the other demultiplexed light signal is input, and in which N second electrodes (51-5N) that advance the phase of the light signal during the first application state are arranged in (N+1) groups so as to form pairs respectively with the first electrodes; a drive means (70) that selects and drives an electrode pair that differs from the electrodes that were selected previously in accordance with the light signals; and an optical multiplexing means (60).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2013/121747 A1

---

本発明の光変調器 10 は、光分波手段 20、分波された一方の光信号が入力され、第 1 の印加状態の時は光信号の位相を進ませる N 個の第 1 電極 41 - 4N が (N + 1) 群配置された第 1 の光導波路 31、分波された他方の光信号が入力され、第 1 電極とそれぞれ対を成すように、第 1 の印加状態の時は光信号の位相を進ませる N 個の第 2 電極 51 - 5N が (N + 1) 群配置された第 2 の光導波路 32、光信号に応じて前回選択した電極とは異なる電極対を選択して作動駆動する駆動手段 70 および光合波手段 60 を備える。

## 明 細 書

発明の名称：光変調器および光変調方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、光通信に用いられる光変調器および光変調方法に関する。

### 背景技術

[0002] 中・長距離系における光通信システムにおいては、高速化や大容量化がますます進んでいる。次世代の光通信方式として、光多値変調や光直交周波数分割多重（OFDM：Orthogonal Frequency-Division Multiplexing）等の方式が提案されている。光多値変調方式は、光の振幅や位相を多値化することによって、周波数利用帯域を増やさずに情報量を増大させる方式である。一方、光OFDM方式は、電気信号によってOFDM信号を生成して光変調し、光サブキャリア間を直交状態にして多重化する方式である。

[0003] 上述の方式を用いて、多値化や多重化を行うと共にデータである電気デジタル信号を光アナログ信号波形に変換して送信する光送信装置には、一般的に、マッハツェンダー型干渉計（MZI：Mach-Zehnder Interferometer）によって構成される光変調器（以下、マッハツェンダー型変調器と記載する。）が用いられている。

[0004] 例えば、特許文献1には、ニオブ酸リチウム（LiNbO<sub>3</sub>）によって構成された光変調器（以下、LN変調器と記載する。）を用いてマッハツェンダー型変調器を構成し、このLN変調器の光導波路の一部に電圧を加えることによって光導波路の屈折率を変化させ、光の干渉を利用して光変調する光導波路デバイスが開示されている。

[0005] 特許文献2には、リン化インジウム（InP）とヒ素リン化インジウムガリウム（InGaAsP）系、または、ヒ素化ガリウム（GaAs）とヒ素化アルミニウムガリウム（AlGaAs）系の半導体材料によって構成したマッハツェンダー変調器が開示されている。半導体材料の電圧に対する屈折率変化が、ニオブ酸リチウムのそれに比べて数十倍以上大きい係数を持つこ

とから、半導体材料を用いる場合、LN変調器を用いる場合と比較して、動作電圧を数分の一にすることができ、サイズを数十分の一以下にすることができる。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0006] 特許文献1：特開2003-233047号公報

特許文献2：特開平08-146365号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1や特許文献2のマッハツェンダー型変調器を用いて光信号の多値化や多重化を行うことによって変調信号のシンボルレートを下げることができる。変調信号のシンボルレートが下がることにより、光変調器周辺の電気回路の負担が減少すると共に、光導波路内の分散の影響が小さくなり、長距離伝送する際に波形の劣化が起こりにくくなる。

[0008] しかし、多値化度や多重化度を上げ過ぎると、隣接した信号とのクロストークが無視できなくなる。従って、多値化度や多重化度を上げるのと並行して、変調信号のシンボルレートを上げることが望ましい。一方、変調器の駆動回路において、多値化度や多重化度を上げることとシンボルレートを上げることとの間にはトレードオフの関係があり、一般的に、両者を共に上げることは困難である。

[0009] 本発明の目的は、光変調器の駆動回路の負荷を上げることなく、変調信号のシンボルレートを上げることができる、光変調器および光変調方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するために本発明に係る光変調器は、入力した光信号を分波して出力する光分波手段と、光信号を変調するための変調電圧が印加された第1の印加状態または変調電圧が印加されていない第2の印加状態を成し

、第1の印加状態の時に光信号の位相を進ませる第1電極および第2電極と、N個（Nは1以上の整数）の第1電極から成る電極群が（N+1）個配置され、分波された一方の光信号が入力する第1の光導波路と、第1電極とそれぞれ対を成すN個の第2電極から成る電極群が（N+1）個配置され、分波された他方の光信号が入力する第2の光導波路と、光信号に応じて前回選択した電極とは異なる第1電極および対を成す第2電極を選択し、一方が第1の印加状態に、他方が第2の印加状態になるように、選択した第1電極および第2電極に変調電圧を印加する駆動手段と、第1の光導波路から出力された光信号と第2の光導波路から出力された光信号とを合波して出力する光合波手段と、を備える。

[0011] 上記目的を達成するために本発明に係る光変調方法は、光信号を変調するための変調電圧が印加された第1の印加状態または変調電圧が印加されていない第2の印加状態を成し、第1の印加状態の時に光信号の位相を進ませるN個（Nは1以上の整数）の第1電極から成る電極群が（N+1）個配置された第1の光導波路および第1の印加状態または第2の印加状態を成し、第1の印加状態の時に光信号の位相を進ませるN個の第2電極が第1電極とそれぞれ対を成すように配置された電極群が（N+1）個配置された第2の光導波路を備えた光変調器を用いた光変調方法であって、入力した光信号を分波して出力し、分波された一方の光信号を第1の光導波路に入力すると共に他方の光信号を第2の光導波路に入力し、光信号に応じて前回選択した電極とは異なる第1電極および対を成す第2電極を選択し、一方が第1の印加状態に、他方が第2の印加状態になるように、選択した第1電極および第2電極に変調電圧を印加し、第1の光導波路から出力された光信号と第2の光導波路から出力された光信号とを合波して出力する。

### 発明の効果

[0012] 本発明に係る光変調器および光変調方法は、光変調器の駆動回路の負荷を上げることなく、変調信号のシンボルレートを上げることができる。

### 図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の第1の実施形態に係る光変調器10の構成図である。
- [図2]本発明の第1の実施形態に係る光変調器10に駆動回路を追加した場合の構成図である。
- [図3]本発明の第1の実施形態の変形例に係る光変調器10Bの構成図である。
- [図4]本発明の第2の実施形態に係る光変調器100の構成図である。
- [図5]本発明の第2の実施形態に係る光変調器100の入力ベクトルと出力ベクトルの複素平面図である。
- [図6]本発明の第2の実施形態に係る光変調器100に入力する入力ベクトルおよび光変調器100から出力される出力ベクトルの遷移図である。
- [図7]本発明の第3の実施形態に係る光変調器100Bの構成図である。
- [図8]本発明の第3の実施形態に係る光変調器100Bの入力ベクトルと出力ベクトルの複素平面図である。
- [図9]本発明の第4の実施形態に係る光変調器100Cの構成図である。
- [図10]本発明の第4の実施形態に係る光変調器100Cの入力ベクトルと出力ベクトルの複素平面図である。

### 発明を実施するための形態

- [0014] (第1の実施形態)

第1の実施形態に係る光変調器について説明する。本実施形態に係る光変調器のブロック構成図を図1に示す。図1において、本実施形態に係る光変調器10は、光分波部20、第1の光導波路31、第2の光導波路32、 $N \times (N + 1)$ 個の第1電極、 $N \times (N + 1)$ 個の第2電極および光合波部60を備える。ここで、 $N$ は1以上の整数である。

- [0015] 光分波部20は、光変調器10に入力した光信号を分波し、一方を第1の光導波路31へ、他方を第2の光導波路32へ出力する。本実施形態において、光分波部20は、入力した光信号の強度を50:50に等分割して第1の光導波路31および第2の光導波路32へ出力する。なお、上記の「50:50」という比率は、光信号が実質的に均等に分割されるという意味であ

り、厳密にこの比率である必要はない。

- [0016] 第1の光導波路31には、N個の第1電極41、42、…、4Nを1つの群とする電極群が(N+1)個配置されている。第1の光導波路31は、光変調器10の外部に備えられた駆動回路(図示なし)によって第1電極に所定の電圧が印加された時に屈折率が変化し、第1の光導波路31を通過した光信号の位相が所定のシフト量だけ進む。以下、光信号の位相を所定のシフト量進める印加電圧を「変調電圧」という。
- [0017] 第2の光導波路32には、N個の第2電極51、52、…、5Nを1つの群とする電極群が(N+1)個配置されている。第2の光導波路32は、駆動回路によって第2電極に変調電圧が印加された時に屈折率が変化し、第2の光導波路32を通過した光信号の移相が所定のシフト量進む。
- [0018] 第1電極および第2電極は、変調電圧が印加されていない時には、光信号が進行した距離、光波長および光導波路の屈折率によって決まる位相回転が自然に発生する。そして、第1電極および第2電極は、変調電圧が印加された時には、第1の光導波路31および第2の光導波路32を通過する光信号の位相を、光信号の進行によって自然に生じる上記の位相回転に加えて、さらに所定のシフト量進める。
- [0019] 以下、変調電圧が印加されている状態を「第1の印加状態」、変調電圧が印加されていない状態を「第2の印加状態」と記載する。ここで、第2の印加状態には、電圧が印加されていない状態や変調電圧よりも十分に低い電圧が印加されている状態が含まれる。すなわち、各第1電極および第2電極は、第2の印加状態の時、光導波路を通過する光信号の位相に、光信号の進行によって発生する自然な位相回転を付与する。一方、各第1電極および第2電極は、第1の印加状態の時、光導波路を通過する光信号の位相に、上述の自然に生じる位相回転に加えて上記所定のシフト量を付与する(移相を進める。 )。
- [0020] 本実施形態において、各電極は、第1の印加状態の時に光信号の位相が $\pi/N$ 進むように長さが調整され、1つの群内において、N個の電極が全て第

1の印加状態の時、光導波路を通過する光信号の位相が第2の印加状態と比較して $\pi$ だけ進む。なお、第1の印加状態の時の光の位相が進む量は、1つの群内において全電極が均等である必要はない。位相が $\pi/N$ 以上進む電極と $\pi/N$ 以下進む電極とを混在させ、各群における位相の進む量を合計で $\pi$ とすることもできる。

[0021] また、本実施形態において、対応する群の第1電極41、42、…、4Nと第2電極51、52、…、5Nとはそれぞれ対を成す。例えば、第1群の第1電極41および第1群の第2電極51、第1群の第1電極42および第1群の第2電極52、…、第1群の第1電極4Nおよび第1群の第2電極5Nが、それぞれ対を成す。対をなす第1電極および第2電極は、必ず差動駆動される。すなわち、一方が第1の印加状態であれば、他方は第2の印加状態となる。

[0022] 前記のような差動駆動により、 $(N+1)$ 対の電極群内において、第1電極が全て第1の印加状態、かつ、第2電極が全て第2の印加状態の時、第1の光導波路31を通過する光信号の位相と、第2の光導波路32を通過する光の位相の差は、 $(N+1)\pi$ となる。

[0023] 光合波部60は、第1の光導波路31から出力された光信号と第2の光導波路32から出力された光信号とを合波して出力する。

[0024] 次に、光変調器10の外部に備えられた駆動回路の動作について説明する。図示しない駆動回路は、入力したデータ信号に応じて、光変調器10の第1電極およびそれと対を成す第2電極を選択し、選択した電極の印加状態を変化させる。すなわち、駆動回路が変調電圧を印加することにより、電極は第2の印加状態から第1の印加状態に変化する。一方、駆動回路が変調電圧の印加を停止することにより、電極は第1の印加状態から第2の印加状態に変化する。なお、変調電圧の印加停止には、電圧を印加しないことや、変調電圧以下の電圧を印加することが含まれる。以下、変調電圧の印加を停止している状態を、「低電圧状態」という。

[0025] 本実施形態において、駆動回路は、データ信号が入力した場合、 $N \cdot (N+$

1) 個の第1電極の中から入力したデータ信号に対応する第1電極を選択すると共に、選択した第1電極と対を成す第2電極を選択する。そして、駆動回路は、選択した第1電極および第2電極の印加状態を変化させる。

[0026] 駆動回路は、例えば、入力したデータ信号に対応する電極として、第1の印加状態である第2群の第1電極42を選択し、対を成す第2群の第2電極52を選択する。なお、第2群の第2電極52の印加状態は、対を成す第1電極42と差動の関係にあり、第2の印加状態である。そして、駆動回路は、選択した第1電極42を低電圧状態にし、第1の印加状態から第2の印加状態へ変化させる。また、駆動回路は、第2電極52に変調電圧を印加し、第2の印加状態から第1の印加状態へ変化させる。

[0027] ここで、本実施形態において、駆動回路は、入力データが連続して入力している時に、同じ電極対を連続して選択しない。例えば、駆動回路は、第2群の第1電極42および第2電極52を選択して印加状態を変化させた後に、新たなデータ信号が入力した場合、直前のデータ入力時に選択した第2群の第1電極42および第2電極52は選択しない。駆動回路は、 $N \cdot (N + 1)$  個の電極対から前回選択した電極対を除いた  $N \cdot (N + 1) - 1$  個の電極対から、データ信号に対応する電極対を選択し、選択した電極対の電極の印加状態を変化させる。

[0028] 前回選択した電極対を除いた  $N \cdot (N + 1) - 1$  個からデータ信号に対応する電極対を選択することによって同じ電極対を連続して選択しない場合、各電極対はデータ信号の入力レートの少なくとも2倍の期間、同じ印加状態で保持される。すなわち、各電極対は、駆動回路によって、入力レートの  $1/2$  以下のレート（以降、単に「 $1/2$  レート」という。）で駆動される。なお、「 $1/2$  レート以下」とは、駆動信号が変化する最小時間間隔が常に  $1/2$  レートに対応する周期以上の時間であること、すなわち、駆動信号のロウレベル及びハイレベルのパルス幅が、常に  $1/2$  レートに対応する周期より長いことを意味する。

[0029] ここで、電極群を構成する電極の数が  $N$  であるとき、同じ電極対を連続し

て選択しない、すなわち、1/2レート駆動を実現するためには、(N+1)個以上の電極群を配置する必要がある。以下、その理由について説明する。

[0030] 先ず、電極対を入力信号のレートと同じレート（フルレート）で駆動する場合は、同じ電極対を連続して選択することができる。従って、光変調器からの光出力の状態値がN段階ある場合、合計 $\pi$ だけ位相シフトができる電極をN分割するような一組の電極群があればN段階の状態値に対応することができる。N段階の状態とは、0段階から含めて数えると、(N+1)個の状態を表すことを意味している。一組の電極群しかなければ、各状態を作り出す時の第1の印加状態で駆動する電極の組み合わせは一通りしかない。

[0031] 一方、電極対を1/2レートで駆動する場合、光変調器からの光出力の状態がN段階ある時、前の光出力の状態を作るための電極選択の組み合わせ（1組）と、前の光出力の状態を打ち消す電極選択の組み合わせ（1組）と、前の光出力の状態以外で次に遷移できる電極選択の組み合わせ（N-1組）と、が必要となる。すなわち、(1+1+(N-1))=(N+1)組の電極選択の組み合わせがとれば、同じ電極対を連続して選択せずに変更前とは異なる光出力の状態に遷移することができ、電極対を1/2レート以下で駆動することができる。

[0032] そこで、本実施形態では、前記電極群のコピーを群単位で有する構成を考案した。次に、(N+1)組の組み合わせ数をとるために必要な電極群の数を求める。証明の見通しをよくするために、コピー電極群の数が、(N+X)群以上必要であるとして、Xの条件を求める。ここで、Xは整数である。

[0033] まず、一つの電極群がN分割された電極で構成されており、この電極群のコピーが、(N+X)群あるとする。その中から、0段階からN段階まで(N+1)個の状態を作り出すために選択すべき電極の組み合わせは、組み合わせ定理から、 ${}_{(N+X)}C_N$ 個であり、上述のように、組み合わせ数が(N+1)以上あればよい。すなわち、

$${}_{(N+X)}C_N \geq N+1 \quad \text{式 ($$

1)

となる。ここで、 $N + X > 0$ である必要から、 $X$ についても、 $X > 0$ の条件が成り立つ。式(1)を解くにあたり、数学的帰納法を用いる。式(1)の等号が成り立つ条件を導出する。まず、 $N = 1$ においては、 ${}_{(1+X)}C_1 = 1 + 1$ を満たすには、 $X = 1$ であることがわかる。次に、 $N = K$  ( $K > 1$ の整数)で式(1)が正しいとする。すると、式(1)は、左辺の分母を右辺に移項して、

$$(K+X) \cdot (K-1+X) \cdot \dots \cdot (1+X) = (K+1) K (K-1) \cdot \dots \cdot 2 \quad \text{式(2)}$$

となり、これが正しいとすると、 $N = K + 1$ では、式(1)は、

$$(K+1+X) \cdot (K+X) \cdot \dots \cdot (1+X) = (K+2) \cdot (K+1) K \cdot \dots \cdot 2 \quad \text{式(3)}$$

が得られるが、式(3)に、式(2)を代入すると、 $K+1+X = K+2$ となって、 $X = 1$ が得られる。すなわち、数学的帰納法から、全ての整数 $N$ に対し、 $X = 1$ でなければならないことが証明された。

[0034] 以上より、電極群のコピーが $(N+1)$ 群あれば、その中から、0段階から $N$ 段階まで $(N+1)$ 個の状態を、 $(N+1)$ 通り作り出すことができることがわかる。これはすなわち、前の光出力の状態を構成する電極の駆動状態はそのまま変更せず、他の電極の駆動状態を変更することにより、前以外の任意の光出力の状態に遷移することができ、結果的に全ての電極の駆動が $1/2$ レート以下となることのできる条件である。

[0035] 本実施形態に係る光変調器10は、上記のように構成することにより、新たなデータ信号が入力された場合、前回データ信号が入力された時に選択した電極対とは異なる電極対を選択し、選択した電極対の電極の印加状態を変化させる。同じ電極対を選択して連続して印加状態を変化させないことから、データ信号の入力速度に対して、駆動回路による印加状態の制御速度を $1/2$ 以下にすることができる。従って、光変調器10の駆動回路の負荷を上げることなく、データ信号の処理速度を高速化することができる。

[0036] なお、新たなデータ信号が前回入力したデータ信号と同じ場合は、全ての電極の印加状態がそのまま維持される。この場合、電極の印加状態の制御速度は、データ信号の処理速度の $1/2$ よりさらに小さくなる。また、データ信号が入力された時に選択される電極対の数は1組に限らない。連続して同じ電極対が選択されない範囲で、複数の電極対を選択し、選択した電極対の電極の印加状態を変化させることもできる。

[0037] ここで、本実施形態において、電極は、第1の印加状態の時に光信号の位相が $\pi/N$ 変化するように長さを調整し、1つの群内の全ての電極が第1の印加状態の時、光導波路を通過する光信号の位相が $\pi$ 変化するように調整したが、これに限定されない。電極の長さは、適宜設定することができ、1つの群内の全ての電極が第1の印加状態の時に、光導波路を通過する光信号の位相変化が $\pi$ 以外になるように調整することもできる。

[0038] また、上記の実施形態では、 $(N+1)$ 個の電極群の例を示したが、 $(N+1)$ 個以上の電極群があってもよい。電極群の数が $(N+1)$ 個以上になると、冗長性がさらに増し、駆動条件の自由度が上がる。例えば、入力されたデータが、連続して同じものである場合でも、各電極の駆動が $1/2$ レート以下である条件を満たす限りにおいて、駆動状態を変更できるようになる。

[0039] なお、上記の実施形態では、駆動回路を光変調器10の外部に備えられた回路として説明したが、駆動回路を光変調器10に含まれる構成要素の一つとすることもできる。駆動回路を光変調器10の要素の一つとした場合の光変調器10の構成図を図2に示す。駆動回路70は、データ信号が入力された時、同じ電極対を連続して選択しないように第1電極および該第1電極と対を成す第2電極を選択し、選択した電極対を差動駆動する。なお、図2では、駆動回路70と各電極との間の配線は省略されている。

[0040] (第1の実施形態の変形例)

第1の実施形態の変形例について説明する。第1の実施形態では、変調電圧が印加された時に、光導波路から出力された光信号の位相が $\pi/N$ 変化する

るように、電極の長さを調整した。これに対して、本実施形態では、光合波部から出力される光信号の光強度が一定割合で変化するように、1つの群内のN個の電極の長さをそれぞれ調整する。本実施形態に係る光変調器の構成図を図3に示す。

[0041] 図3に示した光変調器10Bにおいて、光分波部20Bおよび光合波部60Bは、第1の実施形態で説明した光分波部20および光合波部60と同様であり、詳細な説明は省略する。本実施形態に係る光変調器10Bは、図3に示すように、第1の光導波路31Bに3(=N)個の電極41B、42B、43Bを1つの群とする4(=N+1)個の電極群81B、82B、83B、84Bが配置されている。第2の光導波路32Bには、3(=N)個の電極51B、52B、53Bを1つの群とする4(=N+1)個の電極群91B、92B、93B、94Bが配置されている。

[0042] ここで、電極群を構成する3個の電極の長さはそれぞれ、光合波部60Bから出力される光信号の光強度が一定割合で変化するように調整されていると共に3個の電極が全て第1の印加状態である場合に光信号の位相が $\pi$ 変化するように調整されている。

[0043] 本実施形態において、第1電極41Bは長さL1に、第1電極42Bは長さL2に、第1電極43Bは長さL3に、それぞれ調整されている。この時、対を成す電極も同じ長さに調整され、第2電極51Bは長さL1に、第2電極52Bは長さL2に、第2電極53Bは長さL3に、それぞれ調整されている。

[0044] そして、光変調器10Bの外部に備えられた駆動回路(図示なし)は、データ信号が入力した場合、入力したデータ信号に対応する長さを有する第1電極および第2電極を選択し、選択した第1電極および第2電極の印加状態を変化させる。

[0045] 本実施形態において、駆動回路は、入力したデータ信号に対応するために長さL3の電極の印加状態を変化させる場合、例えば、第1の光導波路31Bに配置された第1電極群81Bの第1電極43B(長さL3)と、これと

対を成す第2の光導波路32Bに配置された第1電極群91Bの第1電極53B（長さL3）と、を選択し、選択した電極対を作動駆動する。

[0046] 本実施形態に係る駆動回路も、連続して同じ電極対が選択しない。従って、例えば、次に入力したデータ信号により、前回選択した電極と同じ長さの電極を選択する必要がある場合、同じ長さを有する電極を別の電極群から選択する。

[0047] 例えば、駆動回路は、第1電極群81Bの第1電極43Bおよび第1電極群91Bの第1電極53Bの印加状態を変化させた後に、連続して長さL3に調整された電極を選択する必要がある場合、第2電極群または第3電極群から長さL3の電極対を選択する。すなわち、駆動回路は、第2電極群82Bの第1電極43Bおよび第2電極群92Bの第1電極53B、または、第3電極群83Bの第1電極43Bおよび第3電極群93Bの第1電極53B、のどちらかを選択し、選択した電極対を作動駆動する。

[0048] 以上のように、本実施形態に係る光変調器10Bも同じ電極に対して連続して印加状態を変化させないことから、データ信号の入力レートに対して、駆動回路による印加状態の制御速度を $1/2$ 以下にすることができる。従って、駆動回路の負荷を上げることなく、データ信号の処理速度を高速化することができる。

[0049] なお、新たなデータ信号が前回入力したデータ信号と同じ場合は、全ての電極の印加状態がそのまま維持される。この場合、電極の印加状態の制御速度は、データ信号の処理速度の $1/2$ よりさらに小さくなる。また、データ信号が入力された時に選択される電極対の数は1組に限らない。連続して同じ電極対が選択されない範囲で、複数の電極対を選択し、4以上の電極の印加状態を変化させることもできる。

[0050] （第2の実施形態）

第2の実施形態について説明する。本実施形態に係る光変調器は、マッハツェンダー型干渉計（MZI、Mach-Zehnder Interferometer）を構成する。本実施形態に係る光変調器の構成図を図4に示す。図4において、光変調器1

00は、光入力ポート110、光分波器120、第1導波路131、第2導波路132、第1電極141、第2電極142、第3電極143、第4電極144、光合波器150、第1光出力ポート161および第2光出力ポート162を備える。

[0051] 光入力ポート110は、外部から入力した光信号を光分波器120へ出力する。光分波器120は、光入力ポート110から入力した光信号の強度を50:50に分割し、一方を第1導波路131へ、他方を第2導波路132へ出力する。「50:50」という分割比率が厳密なものである必要がないことは前述の通りである。ここで、光分波器120が例えば、2×2の多モード干渉計分波器(MMI: Multi-Mode Interference)である場合、第1導波路131と第2導波路132とに出力される光の位相は90度異なる。この位相差「90度」に関しても、第1導波路131と第2導波路132とに出力される光の位相は実質的に90度ずれるという意味であり、厳密にこの位相差である必要はない。また、光分波器120が例えば、Y分岐回路である場合、第1導波路131と第2導波路132とに出力される光の位相は等しい。本実施形態では、光分波器120の構成は特に規定しない。

[0052] 第1導波路131には第1電極141および第2電極142が、第2導波路132には第3電極143および第4電極144がそれぞれ配置されている。本実施形態では、光導波路131、132を化合物半導体で形成した。

[0053] 電極141-144は、電圧が印加されることによって導波路131、132の屈折率を変化させ、導波路131、132を通過する光信号の位相を変化させる。光信号の位相が変化することにより、光合波器150で合波され、光出力ポート161、162から出力される光信号の強度が変化する。本実施形態において、電極141-144が位相変調器(導波路131、132の屈折率を変化させる領域)として機能し、マッハツェンダー型光変調器を構成する。マッハツェンダー型光変調器を構成する電極141-144については後述する。

[0054] 光合波器150は、第1導波路131および第2導波路132から出力さ

れた光信号を合波した後で等分割し、一方を第1光出力ポート161へ、他方を第2光出力ポート162へ出力する。本実施形態において、光合波器150から第1光出力ポート161および第2光出力ポート162に出力される光信号は、お互いが反転した信号パターンになっている。

[0055] マツハツェンダー型光変調器を構成する電極141-144について説明する。電極141-144は、1または0で構成されるデータ列によって変調される。本実施形態において、電極141-144は、0を示すデータが入力された場合は光信号の位相をそのままとし、1を示すデータで変調された場合は光信号の位相を $\pi$ シフトさせるように、長さや電圧値等が調整されている。すなわち、本実施形態は、第1の実施形態において、 $N=1$ の場合である。

[0056] 第1導波路131および第2導波路132にそれぞれ、位相を $\pi$ シフトさせることが可能な2つの電極を配置し、2つの電極をON/OFFすることにより、第1導波路131および第2導波路132にそれぞれ、0、 $\pi$ および $2\pi$ の位相回転量を設定することができる。

[0057] さらに、本実施形態に係る光変調器100において、第1導波路131の第1電極141と第2導波路132の第3電極143とが対を成し、第1導波路131の第2電極142と第2導波路132の第4電極144とが対を成し、対を成す電極は差動駆動される。第1電極141を1または0で構成されるデータD1で変調し、第2電極142を1または0で構成されるデータD2で変調する場合、第3電極143がデータD1の反転データで変調され、第4電極144がデータD2の反転データで変調されることにより、対となる電極が差動駆動される。

[0058] ここで、第1導波路131および第2導波路132の電極が対を成すことから、第1導波路131および第2導波路132からの出力の平均が、光変調器100から出力される光変調信号となる。

[0059] 光変調器100から出力される光変調信号について、図5を用いて説明する。図5は、変調用データおよび光変調信号を複素数平面で示したものであ

る。すなわち、横軸が強度、縦軸が位相量である。

- [0060] 第1導波路131に配置する電極と第2導波路132に配置する電極とを対にし、対をなす電極を差動駆動することにより、図5に示した複素平面上で、第1導波路131による位相シフトは左周り、第2導波路132による位相シフトは右周りで、同じ角度（すなわち、同じ位相量）だけ進む。
- [0061] 以下、第1導波路131に配置された第1電極141および第2電極142に入力する変調用データD1、D2を、入力ベクトル(D1、D2)で表記する。また、この時に光変調器100から出力される光変調信号の強度および位相量を出力ベクトル(強度、位相量)で表記する。なお、第2導波路132に配置された第3電極143、第4電極144に入力する変調用データは入力ベクトル(D1、D2)を反転させれば良い。
- [0062] 先ず、第1導波路131に0または $2\pi$ の位相回転量が設定された場合について説明する。第1導波路131に0または $2\pi$ の位相回転量が設定された場合、第1導波路131からの出力は遷移せずにA点(+1、0)に留まる。一方、差動駆動された第2導波路132からの出力もA点(+1、0)に留まる。従って、平均を取ることににより、 $((+1, 0) + (+1, 0)) / 2 = (+1, 0)$ となり、光変調器100から強度1、位相0の光変調信号、すなわち出力ベクトル(+1、0)が出力される。
- [0063] 一方、第1導波路131に $\pi$ の位相回転量が設定された場合、第1導波路131からの出力は、A点(+1、0)から左周りに $\pi$ 進んでB点(-1、0)に進む。一方、差動駆動された第2導波路132からの出力は、A点(+1、0)から右周りに $\pi$ 進んでB点(-1、0)に進む。そして、2つの出力の平均を取ることににより、 $((-1, 0) + (-1, 0)) / 2 = (-1, 0)$ となり、光変調器100から強度が-1で位相量が0の光変調信号、すなわち出力ベクトル(-1、0)が出力される。
- [0064] すなわち、本実施形態において、第1導波路131および第2導波路132の位相回転量が0、 $\pi$ および $2\pi$ に設定されることから、光変調器100からは、強度が1で位相量が0の光変調信号と、強度が-1で位相量が0の

光変調信号とが出力される。

[0065] ここで、図5を用いて出力ベクトルを求める場合、図5上で、入力ベクトルから $D_1 + D_2$ だけ回転させれば良い。例えば、入力ベクトルが $(0, 0)$ の場合は $0 + 0 = 0$ となり、そのままA点 $(+1, 0)$ に留まる。従って、出力ベクトルは $(+1, 0)$ となる。また、入力ベクトルが $(\pi, \pi)$ の場合は $\pi + \pi = 2\pi$ となり、やはりA点 $(+1, 0)$ に留まり、出力ベクトルは $(+1, 0)$ となる。

[0066] 一方、入力ベクトルが $(0, \pi)$ の場合は $0 + \pi = \pi$ となり、A点 $(+1, 0)$ から $\pi$ 回転してB点 $(-1, 0)$ に遷移する。すなわち、出力ベクトルは $(-1, 0)$ となる。また、入力ベクトルが $(\pi, 0)$ の場合は $\pi + 0 = \pi$ となり、A点 $(+1, 0)$ から $\pi$ 回転してB点 $(-1, 0)$ に遷移し、出力ベクトルは $(-1, 0)$ となる。

[0067] 以上のように、電極141-144がそれぞれ、0または $\pi$ で構成されるデータ列に対して0または $\pi$ の位相値をとることから、各電極141-144は1ビットの状態を示す。そして、電極141-144のビット状態に応じて導波路131、132は、0、 $\pi$ および $2\pi$ の3通りの位相シフト値をとる。さらに、第1導波路131および第2導波路132の電極が対を成すことから、2つの導波路131、132からの出力の平均を取ることにより、出力ベクトル $(+1, 0)$ または $(-1, 0)$ の2値の光変調信号が出力される。

[0068] ここで、出力ベクトル $(+1, 0)$ を出力する入力ベクトルは、入力ベクトル $(0, 0)$ と入力ベクトル $(\pi, \pi)$ との2通りある。入力ベクトル $(0, 0)$ は、電極141、142の変調用データ $D_1$ 、 $D_2$ が共に0で、対を成す電極143、144の変調用データが共に $\pi$ の時である。また、入力ベクトル $(\pi, \pi)$ は、電極141、142の変調用データ $D_1$ 、 $D_2$ が共に $\pi$ で、対を成す電極143、144の変調用データが共に0の時である。

[0069] 一方、出力ベクトル $(-1, 0)$ を出力する入力ベクトルは、入力ベクトル $(0, \pi)$ と入力ベクトル $(\pi, 0)$ の2通りある。入力ベクトル $(0,$

$\pi$ ) は、電極 1 4 1 の変調用データ D 1 が 0、電極 1 4 2 の変調用データ D 2 が  $\pi$  で、対を成す電極 1 4 3 の変調用データが  $\pi$ 、電極 1 4 4 の変調用データが 0 の時である。また、入力ベクトル ( $\pi$ 、0) は、電極 1 4 1 の変調用データ D 1 が  $\pi$ 、電極 1 4 2 の変調用データ D 2 が 0、対を成す電極 1 4 3 の変調用データが 0、電極 1 4 4 の変調用データが  $\pi$  の時である。

[0070] そして、本実施形態に係る光変調器 1 0 0 は、例えば、出力ベクトル (-1、0) を出力する場合、入力ベクトル (0、 $\pi$ ) または入力ベクトル ( $\pi$ 、0) のどちらから一方を選択することができる。ここで、本実施形態に係る光変調器 1 0 0 は、入力ベクトルを選択する場合、一つ前の入力ベクトルを考慮して、前回の制御で駆動状態を変化させなかった電極対の駆動状態を変化させる入力ベクトルを選択する。例えば、現時点での入力ベクトルが (0、0)、一つ前の入力ベクトルが (0、 $\pi$ ) である場合、入力ベクトル ( $\pi$ 、0) を選択して出力ベクトル (-1、0) を出力する。

[0071] つまり、一つ前の入力ベクトル (0、 $\pi$ ) により第 2 電極 1 4 2 が変調されて現時点の入力ベクトル (0、0) に遷移し、現時点の入力ベクトル (0、0) から第 1 電極 1 4 1 が変調されて入力ベクトル ( $\pi$ 、0) に遷移することにより、第 1 電極 1 4 1 および第 2 電極 1 4 2 を共に低速で動かすことができる。すなわち、駆動速度の 2 倍の速度で光変調信号を出力することができる。

[0072] これを入力ベクトルの遷移で書くと、(0、0)  $\rightarrow$  ( $\pi$ 、0)  $\rightarrow$  ( $\pi$ 、 $\pi$ )  $\rightarrow$  (0、 $\pi$ )  $\rightarrow$  (0、0) となる。本実施形態に係る光変調器 1 0 0 において、(+1、0) と (-1、0) という 2 値に対して、それぞれ 2 通りの入力ベクトルの選択性があることから、各電極を信号の入力レートよりも低速で駆動することができる。

[0073] すなわち、本実施形態に係る光変調器 1 0 0 は、データの入力に伴って電極を駆動する場合、一つ前のデータが入力された時の電極の駆動の有無を確認し、一つ前のデータで駆動しなかった方の電極を選択して駆動する。電極を交互に変調することにより、データの入力速度より低い速度で電極を駆動

することができる。なお、1つ前のデータと同じデータが入力された場合は、電極を駆動する必要はなく、従って、電極の駆動速度をさらに低下させることができる。

[0074] 入力ベクトル (D 1、D 2) と、その時の出力ベクトル (強度、位相量) と、の関係を図6に示す。図6において、A点は出力ベクトル (+1、0) を示し、B点は出力ベクトル (-1、0) を示す。出力ベクトルをA点 (+1、0) からB点 (-1、0) へ遷移させる場合、一つ前の状態から遷移していない方の電極を遷移させる入力ベクトルを選択することにより、どちらの電極も、入力レートの周期Tの2倍の時間、すなわち2タイムフレーム以上同じ状態を保持することになり、電極を信号の入力レートの半分以下の速度で駆動することができる。

[0075] なお、図6から明らかなように、電極が3タイムフレーム (Tの3倍の時間) 以上遷移しない場合もあることから、電極を駆動するための変調信号は完全なハーフレート (1/2レート) のデータ列になるわけではなく、1/3や1/5といった奇数分の1の速度のデータ列も含まれる。ここで、「1/3レート」、「1/5レート」とは、駆動信号が変化する時間間隔が、これらのレートに対応する周期以上の時間であること、すなわち、駆動信号のロウレベル及びハイレベルのパルス幅が、1/3レート、1/5に対応する周期であるより長いことを意味する。

[0076] 以上のように、本実施形態に係る光変調器100は、光変調用電極を低速で駆動することができる。すなわち、電極の駆動速度を上げずに、データの処理速度を高速化することができ、駆動回路の負担を上昇させずに、通信容量の増大を実現することができる。

[0077] なお、上記の説明ではA点 (+1、0) を基準にしたが、これは第2光出力ポート162からの光出力を基準にしたものである。第1光出力ポート161の出力を基準にする場合、基準点は(0、0)になる。

[0078] ここで、本実施形態では、光分波器120として2×2のMMI構造を適用したがこれに限定されない。例えば、光分波器120として、Y分岐器、

方向性結合器等を適用することもできる。また、光導波路131、132として化合物半導体を適用したが、電圧印加によって屈折率変化が起きる材料、例えば、ニオブ酸リチウム、シリコン上の変調器、ゲルマニウム等の材料を用いることができる。さらに、本実施形態では、上述の制御をマッハツェンダー型光変調器に適用した例を示したが、これに限定されない。上述の駆動回路は、2つの半導体光導波路間の位相差を利用した干渉計による変調器で、低速の平行信号から高速のシリアル光信号を生成するものに、広く適用することができる。

[0079] (第3の実施形態)

第3の実施形態について説明する。本実施形態に係る光変調器100Bの構造図を図7に示す。図7において、光変調器100Bは、光入力ポート110、光分波器120、第1導波路131B、第2導波路132B、第1電極群171、第2電極群172、第3電極群173、第4電極群174、第5電極群175、第6電極群176、光合波器150、第1光出力ポート161および第2光出力ポート162を備える。

[0080] 光入力ポート110、光分波器120、光合波器150、第1光出力ポート161および第2光出力ポート162は、第2の実施形態で説明したそれらと同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0081] 図7において、第1導波路131Bには3つの電極群171、172、173が配置され、電極群171、172、173はそれぞれ、2つの電極で構成されている。例えば、電極群171は、電極171aと電極171bとにより構成されている。一方、第2導波路132Bには3つの電極群174、175、176が配置され、電極群174、175、176はそれぞれ、2つの電極で構成されている。例えば、電極群174は、電極174aと電極174bとにより構成されている。

[0082] 本実施形態において、電極群を構成する各電極は、0を示す変調用データが入力された場合は光信号の位相をそのままとし、1を示す変調用データが入力された場合は光信号の位相を $\pi/2$ シフトさせるように、長さや電圧値

等が調整されている。

- [0083] そして、第1導波路131Bおよび第2導波路132Bにそれぞれ、位相を $\pi/2$ シフトさせることが可能な6つの電極を配置し、6つの電極に印加する駆動電圧をON/OFFすることにより、第1導波路131Bおよび第2導波路132Bにそれぞれ、0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ 、 $2\pi$ 、 $5\pi/2$ 、 $3\pi$ の位相回転量を設定することができる。
- [0084] さらに、本実施形態に係る光変調器100Bにおいて、第1導波路131Bに配置する電極と、第2導波路132Bに配置する電極とは対を成し、対を成す電極はそれぞれ差動駆動される。
- [0085] 本実施形態では、説明を簡単にするために、第1電極群171、第2電極群172、第3電極群173へ入力する変調用データをそれぞれ、1または0で構成されるD1、D2、D3で記載する。そして、電極群171、172、173をそれぞれ構成する2つの電極のうち、どちらの電極に印加された駆動電圧がON/OFFになっているか区別する場合、電極171a、電極171bへ入力する変調用データをそれぞれD11、D12と記載する。そして、電極171aをD11データで変調する場合、それと対を成す電極174aはD11データの反転データで変調される（差動駆動）。
- [0086] 上記のように構成された光変調器100Bは、第1導波路131Bおよび第2導波路132Bからの出力の平均を、光変調信号として出力する。第1導波路131Bおよび第2導波路132Bの位相回転量が0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ 、 $2\pi$ 、 $5\pi/2$ 、 $3\pi$ に設定されることから、光変調器100から出力される光変調信号、すなわち出力ベクトルは、(+1、0)、(0、0)および(-1、0)の3値となる。
- [0087] 光変調器100Bから出力される光変調信号について、図8を用いて説明する。図8は、変調用データおよび光変調信号を複素数平面で示したものである。第1導波路131Bに配置する電極と第2導波路132Bに配置する電極とを対にして差動駆動することにより、図8に示した複素平面上で、第1導波路131Bによる位相シフトは左周り、第2導波路132Bによる位

相シフトは右周りで、同じ角度（すなわち、同じ位相量）だけ進む。

[0088] 図8において、第1導波路131Bに0または $2\pi$ の位相回転量が設定された場合、第1導波路131Bからの出力は遷移せずにA点(+1, 0)に留まる。一方、差動駆動された第2導波路132Bからの出力もA点(+1, 0)に留まる。従って、平均を取ることにより、 $((+1, 0) + (+1, 0)) / 2 = (+1, 0)$ となり、光変調器100Bから出力ベクトル(+1, 0)が出力される。

[0089] また、第1導波路131Bに $\pi$ または $3\pi$ の位相回転量が設定された場合、第1導波路131Bからの出力は、A点(+1, 0)から左周りに $\pi$ 進んでB点(-1, 0)に進む。一方、差動駆動された第2導波路132Bからの出力は、A点(+1, 0)から右周りに $\pi$ 進んでB点(-1, 0)に進む。そして、2つの出力の平均を取ることにより、 $((-1, 0) + (-1, 0)) / 2 = (-1, 0)$ となり、光変調器100Bから出力ベクトル(-1, 0)が出力される。

[0090] さらに、第1導波路131Bに $\pi/2$ 、 $3\pi/2$ または $5\pi/2$ の位相回転量が設定された場合、第1導波路131Bからの出力は、A点(+1, 0)から左周りに進んでC1点(0, +1)またはC2点(0, -1)に進む。一方、差動駆動された第2導波路132からの出力は、A点(+1, 0)から右周りに進んで、第1導波路131Bからの出力と対向する、C2点(0, -1)またはC1点(+1, 0)に進む。そして、2つの出力の平均を取ることにより、光変調器100Bから出力ベクトル(0, 0)が出力される。

[0091] 上記のように、本実施形態に係る12つの電極はそれぞれ、0または1で構成されるデータ列に対して0または $\pi/2$ の位相値をとる。そして、電極が0または $\pi/2$ の位相値を取ることにより、第1導波路131Bおよび第2導波路132Bはそれぞれ、0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ 、 $2\pi$ 、 $5\pi/2$ 、 $3\pi$ の7通りの位相回転量が設定される。さらに、第1導波路131Bおよび第2導波路132Bの対を成す電極が差動駆動されることから、光変調

器100Bからは、A点(+1, 0)、B点(-1, 0)およびC点(0, 0)の3値の出力ベクトルが出力される。

[0092] ここで、A点(+1, 0)、B点(-1, 0)およびC点(0, 0)の出力ベクトルを出力するための入力ベクトルは、それぞれ7通りある。例えば、出力ベクトル(+1, 0)を出力するためには、第1の電極群171が0、第2の電極群172が0、第3の電極群173が0の状態がある。ここで、電極群の状態を(D1, D2, D3)のベクトルで表記すると、入力ベクトル(0, 0, 0)の時に出力ベクトル(+1, 0)が出力される。また、出力ベクトル(+1, 0)を出力する入力ベクトルは、(0, 0, 0)の他、( $\pi$ ,  $\pi$ , 0)、( $\pi$ , 0,  $\pi$ )、(0,  $\pi$ ,  $\pi$ )がある。さらに、電極群はおのおの2つの電極で構成され、それらが $\pi/2$ の値を取り得るため、電極群単位では、0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ が設定可能である。つまり、入力ベクトルとして( $\pi$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi/2$ )、( $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $\pi/2$ )、( $\pi/2$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ )もあり、上記とあわせて7通りになる。

[0093] 同様に、出力ベクトル(0, 0)を出力する入力ベクトルは( $\pi/2$ , 0, 0)、(0,  $\pi/2$ , 0)、(0, 0,  $\pi/2$ )、( $\pi$ ,  $\pi$ ,  $\pi/2$ )、( $\pi$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ )、( $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $\pi$ )、( $\pi/2$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi/2$ )の7通りであり、出力ベクトル(-1, 0)を出力する入力ベクトルは( $\pi$ , 0, 0)、(0,  $\pi$ , 0)、(0, 0,  $\pi$ )、( $\pi/2$ ,  $\pi/2$ , 0)、( $\pi/2$ , 0,  $\pi/2$ )、(0,  $\pi/2$ ,  $\pi/2$ )、( $\pi$ ,  $\pi$ ,  $\pi$ )の7通りである。

[0094] そして、光変調器100Bから出力ベクトル(-1, 0)を出力する場合、7つの入力ベクトルの中からどれか1つを選択することができる。また、本実施形態に係る光変調器100Bは、入力ベクトルを選択する場合、一つ前の入力ベクトルを考慮して、前回変調しなかった電極を駆動する入力ベクトルを選択する。同じ電極を続けて変調しないことにより、データの入力レートより低いレートで電極を駆動することができる。

[0095] ここで、本実施形態に係る光変調器100Bは、第1電極群171の変調

用データD1を、第1電極群171を構成する電極171aの変調用データD11と、電極171bの変調用データD12とを用いて、「D11+D12」で表すことができる。本実施形態に係る光変調器100Bにおいて、第1第1電極群171の設定を変更する場合、D11のみを変更する方法、D12のみを変更する方法、D11およびD12の両方を変更する方法、のいずれかを選択することができる。

[0096] 例えば、第1電極群171の設定を $\pi$ から $\pi/2$ に変更する場合、(D11、D12) = ( $\pi/2$ 、0)とすることもできるし、(0、 $\pi/2$ )とすることもできる。従って、電極群の設定を変更する場合、電極の変調履歴に応じて、前回変調しなかった電極を次に変調する電極として選択する。ただし、D11およびD12は0または $\pi/2$ のどちらかの値しか取ることが出来ないため、例えば、第1電極群171の設定を $\pi$ に変更する場合、(D11、D12)は( $\pi/2$ 、 $\pi/2$ )のみとなる。

[0097] 以上のように、本実施形態に係る光変調器100Bは、データの入力に伴って電極を駆動する場合、1つ前のデータが入力された時の電極の変調の有無を確認し、変調しなかった電極を選択して変調する。このようにすることで、D11、D12、D21、D22、D31、D32は、データレートに対してハーフレート以下で動作する。光変調用電極の駆動速度を低速にすることにより、シンボルレートを上げずに、データの処理速度を高速化することができる。従って、駆動回路の負担を上昇させずに、通信容量の増大を実現することができる。

[0098] なお、各電極を駆動するデータの系列は、データレートに対して完全にハーフレート(1/2の速度)のデータ列になるわけではなく、1/3や1/5といった奇数分の1の速度のデータ列も含まれる。また、一度に遷移させる電極対は一つであるとは限らず、複数の電極群、複数の電極を同時に遷移させることもある。

[0099] ここで、本実施形態に係る光変調器100Bは、一つの導波路に3つの光変調用の電極群を配置し、電極群をそれぞれ2つの電極で構成したが、光変

調のために用いる電極の数や順番は、適宜設定することができる。

[0100] (第4の実施形態)

第4の実施形態について説明する。本実施形態に係る光変調器100Cの構成図を図9に示す。図9において、光変調器100Cは、光入力ポート110、光分波器120、第1導波路131C、第2導波路132C、第1電極群181、第2電極群182、…、第(N+1)電極群181+N、第1電極群191、第2電極群192、…、第(N+1)電極群191+N、光合波器150、第1光出力ポート161および第2光出力ポート162を備える。ここで、Nは2以上の整数である。

[0101] 光入力ポート110、光分波器120、光合波器150、第1光出力ポート161および第2光出力ポート162は、第2の実施形態で説明したそれらと同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0102] 第1導波路131Cには、(N+1)個の電極群181、182、…、181+Nが配置され、各電極群はN個の電極で構成されている。一方、第2導波路132Cには、(N+1)個の電極群191、192、…、191+Nが配置され、各電極群はN個の電極で構成されている。

[0103] ここで、第2および第3の実施形態のように、電極をすべて等しい長さに設定する場合、単位円上の位相角度が等間隔になるため、実軸上への投射は等間隔ではなくなる。本実施形態では、実軸上へ投射した時に、A点(+1、0)とB点(-1、0)との間で1/N間隔で値を出力するように、電極の長さを調整する。

[0104] つまり、各電極の長さは一定ではなく、例えば図10に示した複素平面において、A点からD1点までの位相量 $\theta_1$ と、D1点からC1点までの位相量 $\theta_2$ とは、異なる。一方、各電極の長さは、図10において、実軸上に投影した時に、A点からD点までの距離と、D点からC点までの距離とが等しく「距離d」になるように調整されている。そして、上記のように長さが調整された電極をN個備えることにより、電極群単位では $\pi$ ずつ位相回転することができる。さらに、第1導波路131Cおよび第2導波路132Cに、

実軸上で等間隔の値を出力するN個の電極を配置し、それらの電極を駆動する電圧をON/OFFすることにより、第1導波路131Cおよび第2導波路132Cは、最大(N+1) $\pi$ の位相回転量を設定することができる。

[0105] 本実施形態に係る光変調器100Cにおいても、第1導波路131Cに配置する電極と第2導波路132Cに配置する電極とは対を成し、対を成す電極は差動駆動される。第1導波路131Cおよび第2導波路132Cの電極が対を成すことから、第1導波路131Cおよび第2導波路132Cからの出力の平均が光変調器100Cから出力される光信号となる。従って、各電極の長さを実軸上に投影した時に1/N間隔の値を出力するように調整することにより、本実施形態に係る光位相器100Cは、A点(+1, 0)とB点(-1, 0)との間をN個に分割した値をとる。

[0106] ここで、本実施形態に係る光変調器100Cにおいて重要なことは、第3の実施形態と同様に、電極群に設定する位相量を変更するためには、2以上の電極の中から電圧を印加して遷移させる電極を選択できることである。つまり、前回のデータ出力時に遷移させた電極は、次のデータ出力時は遷移させないようにする。なお、遷移させる電極は一つに限らず、複数の電極群、複数の電極を同時に遷移させることもある。

[0107] 例えば、第1電極群181にD1が設定され、それを構成するN個の電極に、D11、D12、…、D1Nが設定されている時に電極群の設定をD1から他の値に変更する場合は、D11のみを変更するか、D12のみを変更するか、D1NおよびD12を変更するか、その組み合わせで変更するか、の自由度が存在する。このようにすることで、D11、D12、…、D1N、さらにその他の電極群のD21、…、DNNまでの電極は、データレートに対してハーフレート以下で動作することとなる。ただし、各電極を駆動するデータの系列は、データレートに対して完全にハーフレート(1/2の速度)のデータ列になるわけではなく、1/3や1/5といった奇数分の1の速度のデータ列が含まれることになる。

[0108] 以上のように、本実施形態に係る光位相器100Cは、データを出力する

時に、一つ前のデータ出力で遷移させた電極を確認し、一つ前のデータ出力で遷移させなかった電極を選択して遷移させる。同じ電極を続けて遷移させないことにより、データの入力レートよりも低いレートで電極を駆動することができる。電極の駆動速度の低速化は、シンボルレートを上げずに、出力のデータを高速化することになる。これにより、駆動回路の負担を上昇させずに通信容量を増大させることができる。

[0109] 本願発明は上記実施形態に限定されるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。また、この出願は、2012年2月13日に出願された日本出願特願2012-028605を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

### 産業上の利用可能性

[0110] 2つの半導体光導波路間の位相差を利用した干渉計による変調器で、低速の平行信号から高速のシリアル光信号を生成するものに、広く適用することができる。

### 符号の説明

[0111] 10、10B 光変調器  
 20、20B 光分波部  
 31、31B 第1の光導波路  
 32、32B 第2の光導波路  
 41、42、…、4N、41B、42B、43B 第1電極  
 51、52、…、5N、51B、52B、53B 第2電極  
 60、60B 光合波部  
 70 駆動回路  
 81B、82B、83B、84B 電極群  
 91B、92B、93B、94B 電極群  
 100、100B、100C 光変調器  
 110 光入力ポート  
 120 光分波器

131、131B、131C	第1導波路
132、132B、132C	第2導波路
141-144	電極
150	光合波器
161	第1光出力ポート
162	第2光出力ポート
171、172、173、174、175、176	電極群
181、182、191、192	電極群

## 請求の範囲

- [請求項1] 入力した光信号を分波して出力する光分波手段と、  
前記光信号を変調するための変調電圧が印加された第1の印加状態または前記変調電圧が印加されていない第2の印加状態を成し、前記第1の印加状態の時に前記光信号の位相を進ませる第1電極および第2電極と、  
N個（Nは1以上の整数）の前記第1電極から成る電極群が（N+1）個配置され、前記分波された一方の光信号が入力する第1の光導波路と、  
前記第1電極とそれぞれ対を成すN個の前記第2電極から成る電極群が（N+1）個配置され、前記分波された他方の光信号が入力する第2の光導波路と、  
前記光信号に応じて前回選択した電極とは異なる前記第1電極および対を成す前記第2電極を選択し、一方が前記第1の印加状態に、他方が前記第2の印加状態になるように、前記選択した前記第1電極および前記第2電極に前記変調電圧を印加する駆動手段と、  
前記第1の光導波路から出力された光信号と前記第2の光導波路から出力された光信号とを合波して出力する光合波手段と、  
を備える光変調器。
- [請求項2] 同じ値の前記データ信号が連続して入力された場合、前記駆動手段は全ての前記第1電極および第2電極の印加状態をそのまま維持する、請求項1記載の光変調器。
- [請求項3] 前記群内において前記N個の第1電極が全て前記第1の印加状態の時は前記光信号の位相が $\pi$ 進み、前記群内において前記N個の第2電極が全て前記第1の印加状態の時は前記光信号の位相が $\pi$ 進む、請求項1または2記載の光変調器。
- [請求項4] 前記群内において、N個の電極は、前記光合波手段から出力される光信号の光強度が一定割合で変化するように、それぞれ長さが調整され

ている、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項記載の光変調器。

[請求項5] 前記群内において、N個の電極は、配置されている光導波路から出力される光信号の位相が $\pi/N$ ずつ変化するように長さが調整されている、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項記載の光変調器。

[請求項6] 光信号を変調するための変調電圧が印加された第 1 の印加状態または前記変調電圧が印加されていない第 2 の印加状態を成し、前記第 1 の印加状態の時に前記光信号の位相を進ませる N 個（N は 1 以上の整数）の第 1 電極から成る電極群が（N + 1）個配置された第 1 の光導波路と、

前記第 1 の印加状態または前記第 2 の印加状態を成し、前記第 1 の印加状態の時に前記光信号の位相を進ませる N 個の第 2 電極が前記第 1 電極とそれぞれ対を成すように配置された電極群が（N + 1）個配置された第 2 の光導波路と、

を備えた光変調器を用いた光変調方法であって、

入力した光信号を分波して出力し、

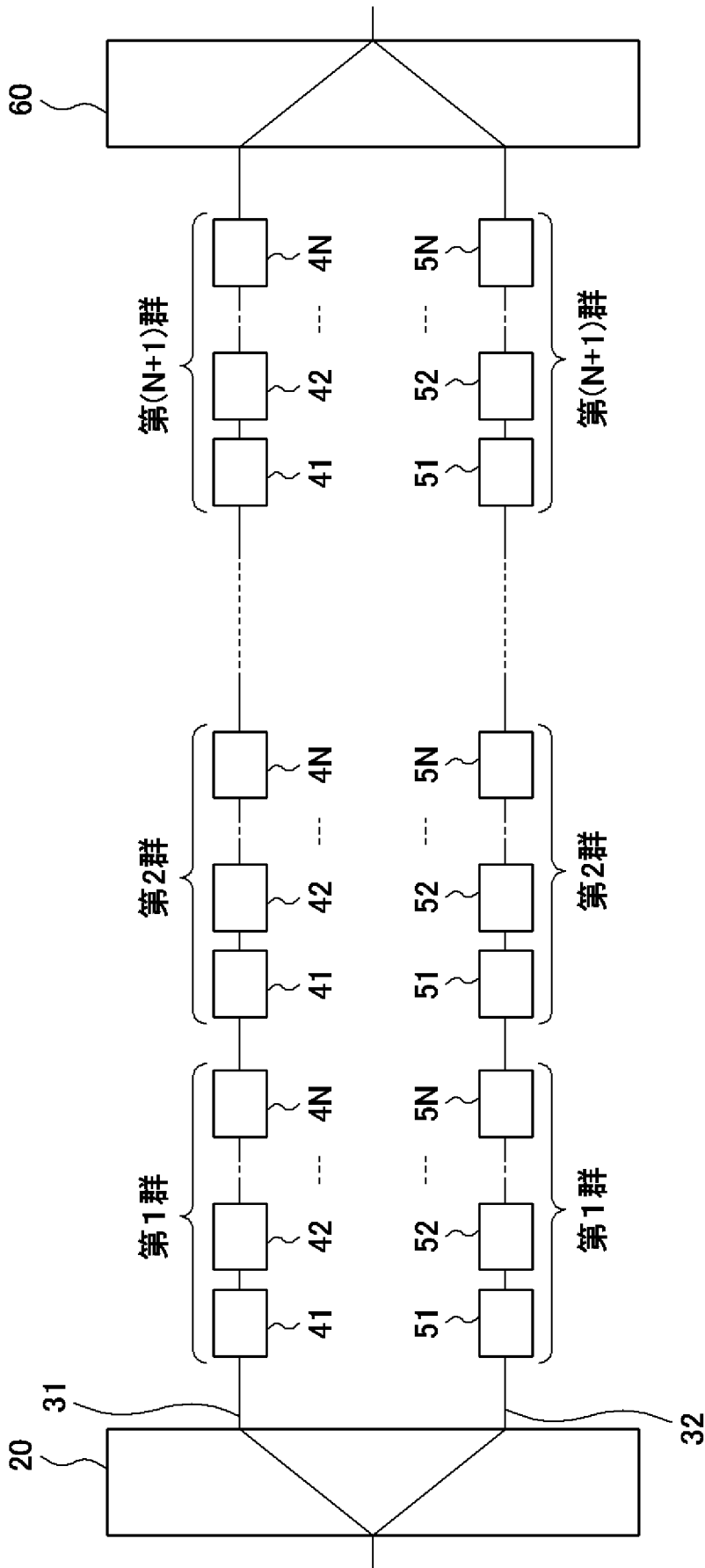
前記分波された一方の光信号を前記第 1 の光導波路に入力すると共に他方の光信号を前記第 2 の光導波路に入力し、

前記光信号に応じて前回選択した電極とは異なる前記第 1 電極および対を成す前記第 2 電極を選択し、一方が前記第 1 の印加状態に、他方が前記第 2 の印加状態になるように、前記選択した前記第 1 電極および前記第 2 電極に前記変調電圧を印加し、

前記第 1 の光導波路から出力された光信号と前記第 2 の光導波路から出力された光信号とを合波して出力する、

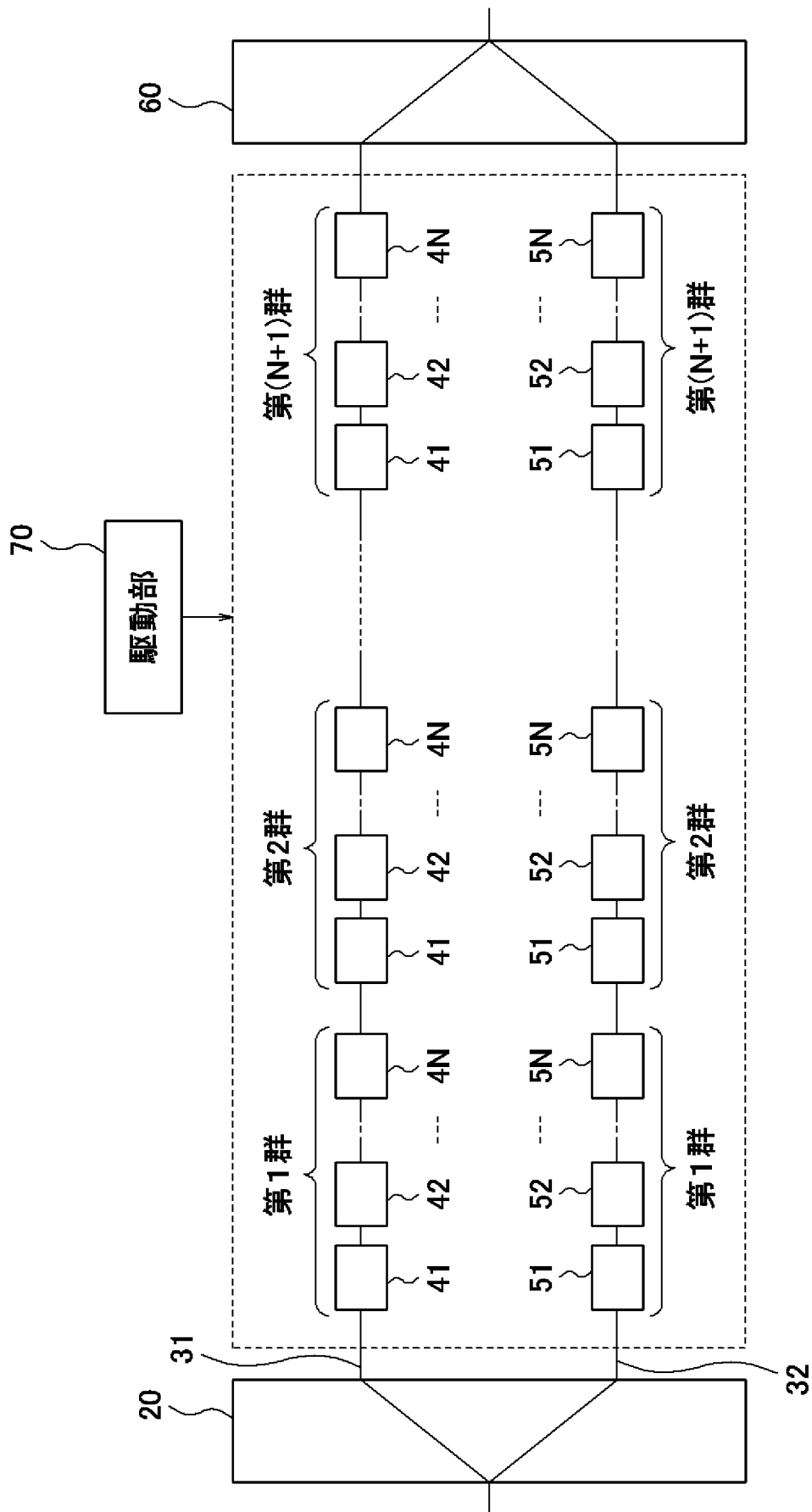
光変調方法。

[図1]



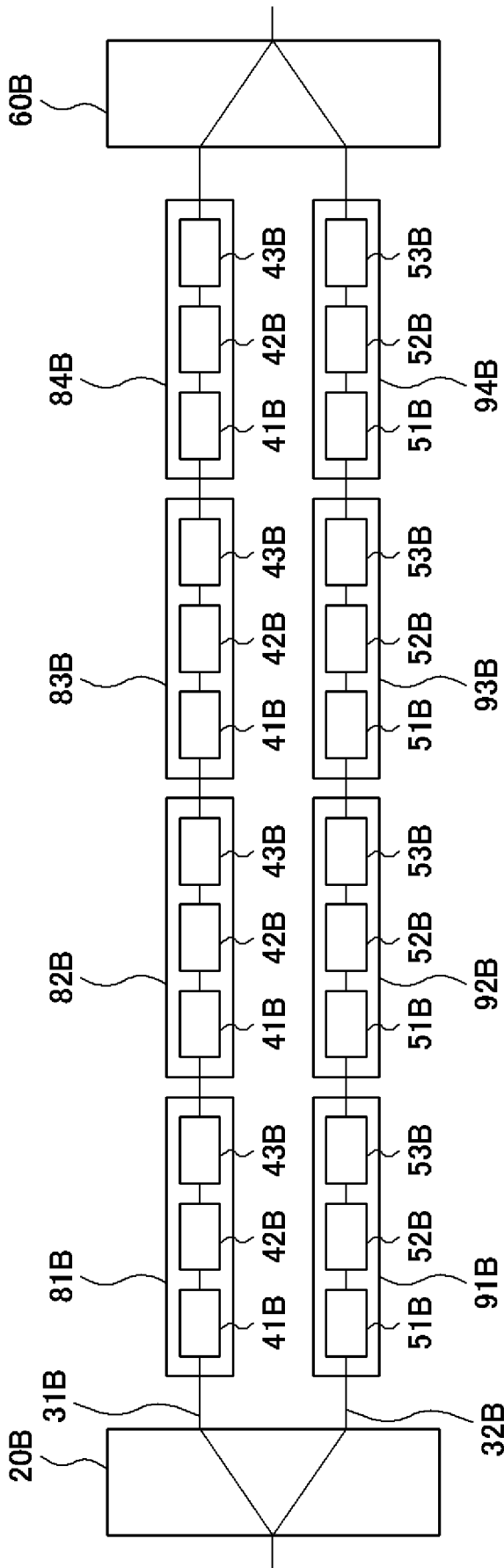
光変調器 10

[図2]



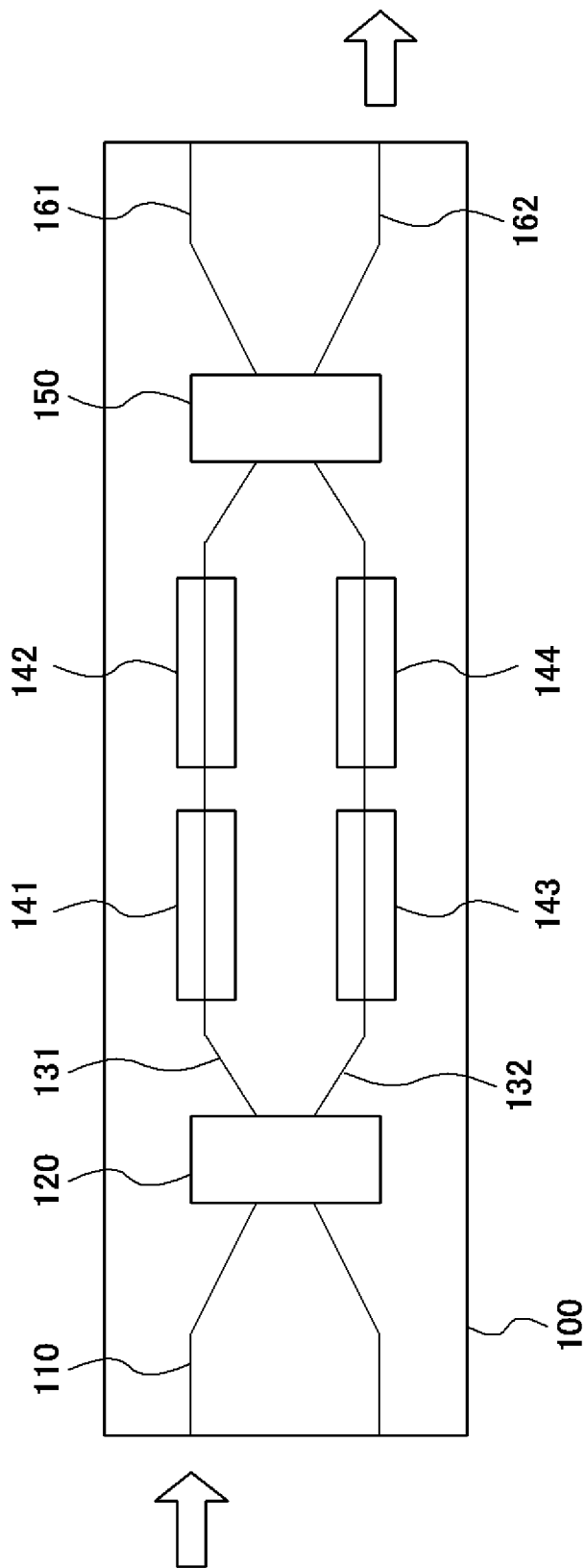
光変調器 10

[図3]



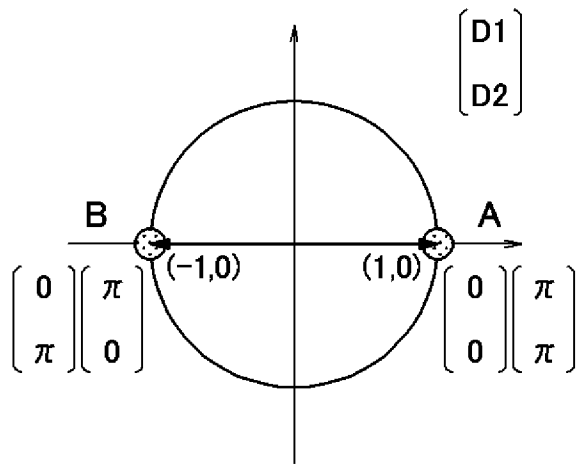
光変調器 10B

[図4]

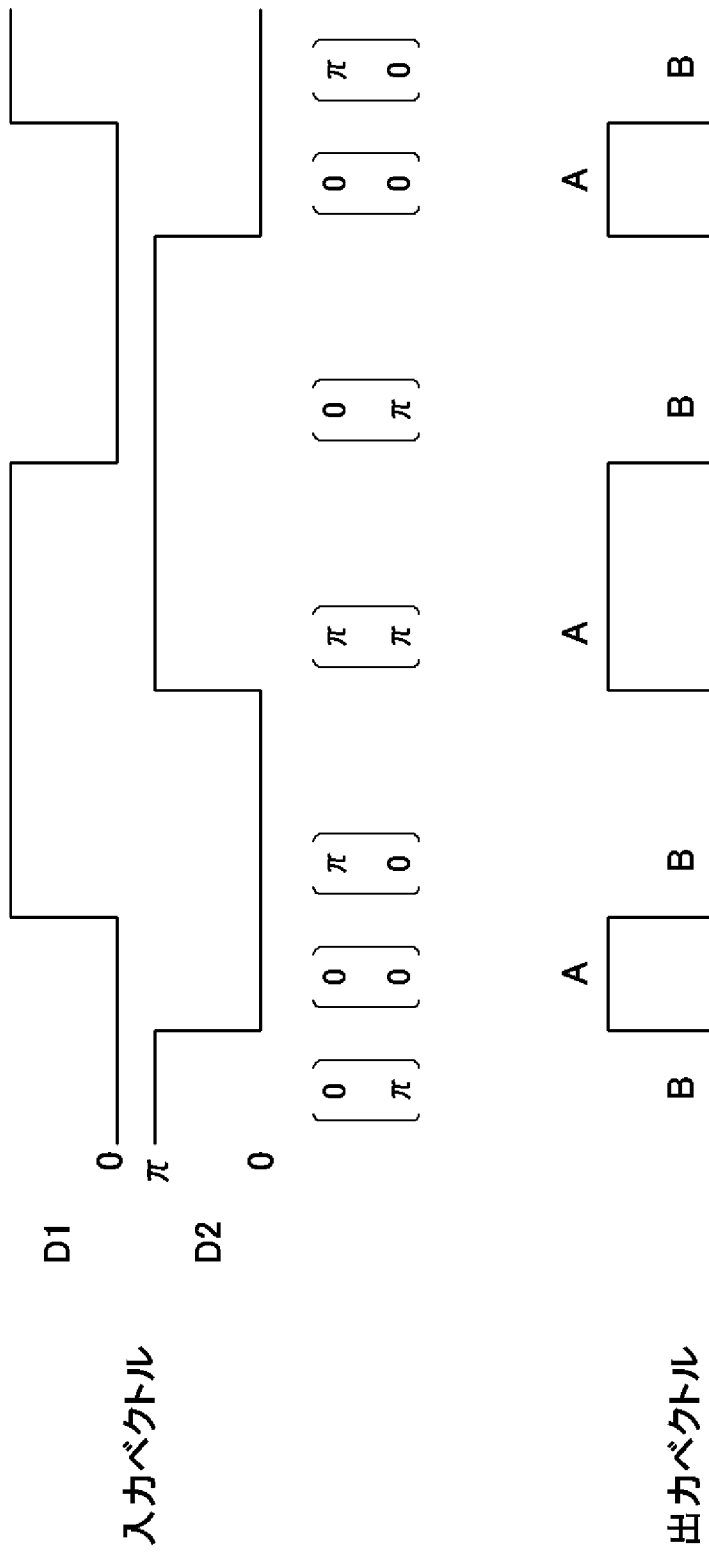


光変調器 100

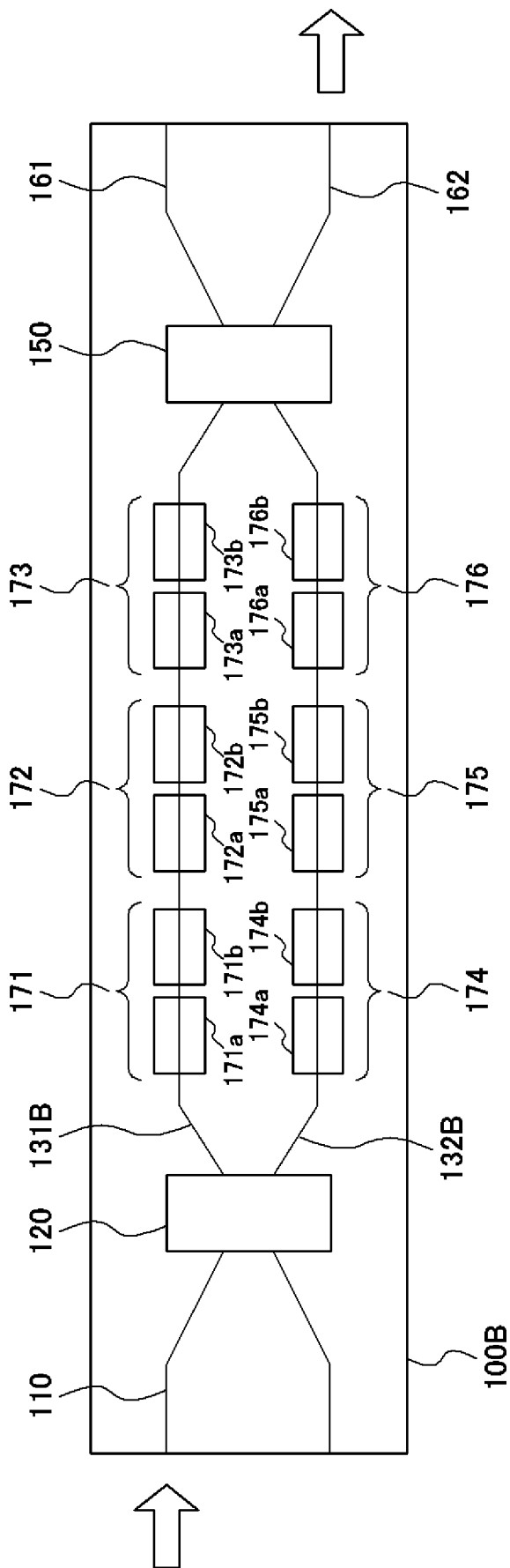
[図5]



[図6]

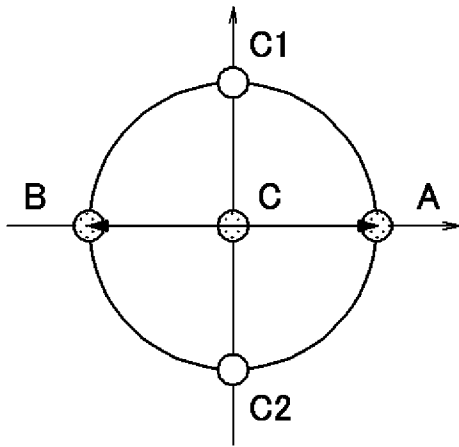


[図7]

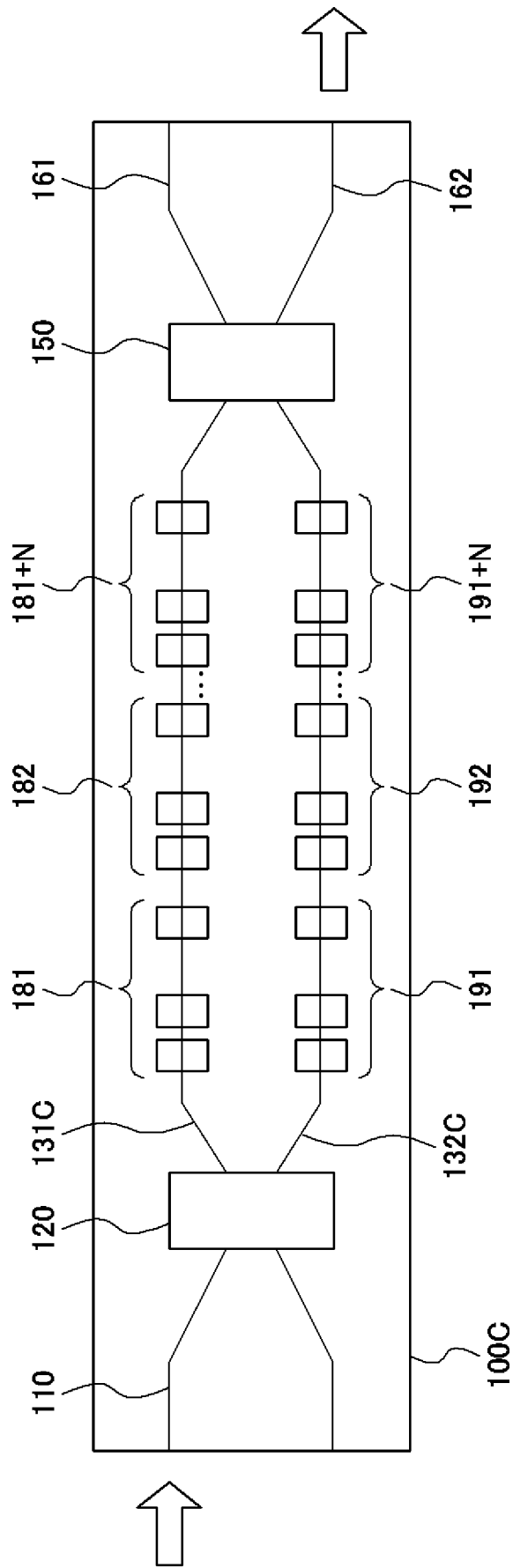


光変調器 100B

[図8]

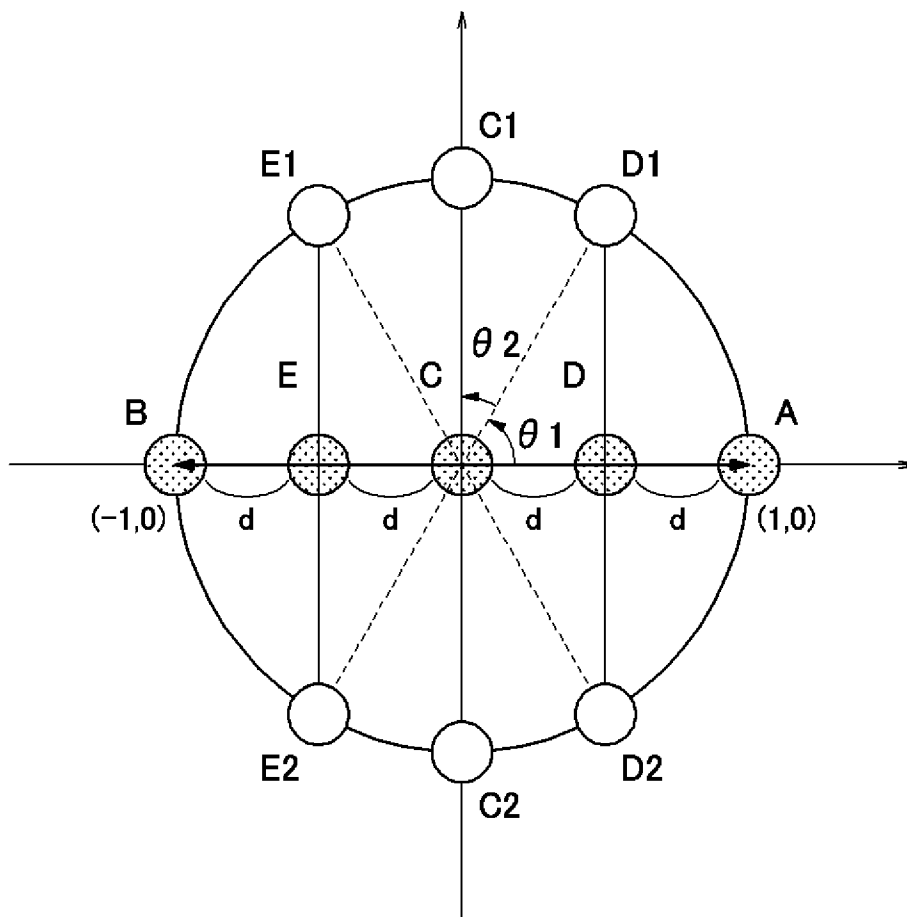


[図9]



光変調器 100C

[図10]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/000664

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/01(2006.01) i, H04B10/516(2013.01) i, H04B10/61(2013.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/00-1/125, G02F1/313, H04B10/516, H04B10/61

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JST7580(JDreamII), Science Direct, IEEE Xplore

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-211012 A (Seikou Giken Co., Ltd., Utsunomiya University), 24 September 2010 (24.09.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2006-54660 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 23 February 2006 (23.02.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 1-163720 A (Fujitsu Ltd.), 28 June 1989 (28.06.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
22 February, 2013 (22.02.13)Date of mailing of the international search report  
19 March, 2013 (19.03.13)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/000664

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/152642 A1 (Ramot at Tel Aviv Univ. LTD.), 18 December 2008 (18.12.2008), entire text; all drawings & US 2010/0156679 A1 & EP 2174185 A	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G02F1/01(2006.01)i, H04B10/516(2013.01)i, H04B10/61(2013.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G02F1/00-1/125, G02F 1/313, H04B10/516, H04B10/61

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2013年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2013年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2013年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
 JSTPlus/JST7580(JDreamII), Science Direct, IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-211012 A (株式会社精工技研、国立大学法人宇都宮大学) 2010.09.24, (全文全図) (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2006-54660 A (日本電信電話株式会社) 2006.02.23, (全文全図) (ファミリーなし)	1-6
A	JP 1-163720 A (富士通株式会社) 1989.06.28, (全文全図) (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

<p>* 引用文献のカテゴリー                  「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの                  「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの                  「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)                  「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献                  「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>	<p>の日の後に公表された文献                  「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの                  「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの                  「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの                  「&amp;」同一パテントファミリー文献</p>
---	---

国際調査を完了した日 22.02.2013	国際調査報告の発送日 19.03.2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 林 祥恵 電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2008/152642 A1 (Ramot at Tel Aviv Univ.LTD.) 2008.12.18, (全文全図) & US 2010/0156679 A1 & EP 2174185 A	1-6