

(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
2011 年 10 月 27 日(27.10.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/132283 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/025 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/057132

(22) 国際出願日: 2010 年 4 月 22 日(22.04.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高林 和雅 (TAKABAYASHI, Kazumasa) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 早川 明憲 (HAYAKAWA, Akinori) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 國分 孝悦 (KOKUBUN, Takayoshi); 〒1700013 東京都豊島区東池袋 1 丁目 1 7 番 8 号 N B F 池袋シティビル 5 階 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, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

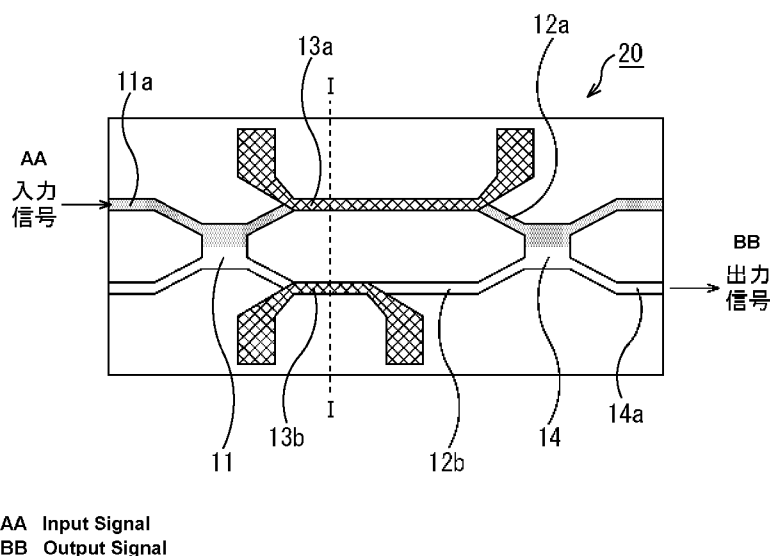
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OPTICAL MODULATION DEVICE, DRIVE METHOD FOR OPTICAL MODULATION DEVICE, AND PRODUCTION METHOD FOR OPTICAL MODULATION DEVICE

(54) 発明の名称: 光変調装置、光変調装置の駆動方法、及び光変調装置の製造方法

[図4A]



AA Input Signal
BB Output Signal

(57) Abstract: When adjusting the phase of light passing through arms (12a, 12b), a first DC bias and a first modulating signal from a modulating electrode (13a) and a second DC bias and a second modulating signal from a modulating electrode (13b) are applied to the arm (12a) and the arm (12b) respectively, and the first and second DC biases are applied to the modulating electrodes (13a, 13b) in a manner maintaining a fixed value for the ratio between the product of the length of the modulating electrode (13a) and the first DC bias and the product of the length of the modulating electrode (13b) and the second DC bias. As a result of this configuration, in an optical modulation device using a semiconductor Mach-Zehnder modulator, the optimum control for the phase difference between the arms (12a, 12b) and precise control of wavelength chirp characteristics can be realized by means of a simple device structure, and optical modulation having excellent properties with a compact device size is realized.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/132283 A1



アーム(12 a, 12 b)を通過する光の位相を調整する際に、アーム(12 a)には変調電極(13 a)から第1のDCバイアス及び第1の変調信号を、アーム(12 b)には変調電極(13 b)から第2のDCバイアス及び第2の変調信号をそれぞれ印加し、第1及び第2のDCバイアスは、変調電極(13 a)の長さとの積と、変調電極(13 b)の長さとの積との比率を一定値に保つように、変調電極(13 a, 13 b)に印加される。この構成により、半導体マッハ・ツェンダ変調器を用いた光変調装置において、アーム(12 a, 12 b)間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構造で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現される。

明 細 書

発明の名称：

光変調装置、光変調装置の駆動方法、及び光変調装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、マッハ・ツェンダ型の光導波路を備えた光変調装置、その駆動方法、及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 大容量の光通信が可能であるWDMシステムの通信用光源として強く求められている、広い波長範囲で高速に動作する光変調装置として、いわゆるマッハ・ツェンダ（Mach-Zehnder）型変調器を用いた光変調装置が注目されている。現在、長距離及び大容量の光通信システムにおいては、例えば非線形光学結晶ニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 , LN）中の電気光学効果を利用したマッハ・ツェンダ干渉計型光変調器（以下、単にLN-MZ型光変調器と称する。）と半導体レーザとを備えた光送信機が用いられている。また近年では、小型化が可能な半導体マッハ・ツェンダ（MZ）型光変調器（以下、単に半導体MZ型光変調器と称する。）及び半導体MZ型光変調器集積型の半導体レーザの開発が進められている。

[0003] 半導体MZ型光変調器の一例を図19に示す。

この半導体MZ型変調器は、半導体導波路で形成される第1の光カプラ101、アーム102a、102b、第2の光カプラ104及び変調電極103a、103bを備えて構成される。

第1の光カプラ101は、入力ポート101aを有しており、入射光を2つに分岐する入力カプラである。アーム102a、102bは、2本の分岐された光が伝播する導波路である。変調電極103a、103bは、アーム102a、102bの導波路上に形成されており、アーム102a、102bにそれぞれ変調信号を印加するための電極である。第2の光カプラ104は、出力ポート104aを有しており、アーム102a、102bを伝播し

た光を合波（結合）する出力カプラである。

[0004] 2本のアーム102a, 102bは、それぞれ一端が第1の光カプラ101と、他端が第2の光カプラ104と接続されている。入力ポート101aから第1の光カプラ101に入射した光は、アーム102a, 102bで分岐し、それぞれアーム102a, 102bを通過した後に、第2の光カプラ104で合波されて出力ポート104aから出力する。この合波時における光の干渉状態により、出力光のオン／オフが切り替えられる。アーム102a, 102bを通過した光が第2の光カプラ104の出力ポート104aにおいて再び結合する際の位相差が0（又は $2N\pi$, N は整数）の場合には、互いに強め合う干渉状態となるため、出力ポート104aから光が出力されるオン状態となる。一方、アーム102a, 102bを通過した光が第2の光カプラ104の出力ポート104aにおいて再び結合する際の位相差が π （又は $(2N+1)\pi$ ）の場合には、互いに弱め合う干渉状態となるため、出力ポート104aから光が出力されないオフ状態となる。

[0005] アーム102a, 102bを通過する光の位相の調整方法としては、例えば、アーム102a, 102bに電界を印加したときに生じる屈折率変化を利用して位相を調整する方法等がある。従って、変調電極103a, 103bによりアーム102a, 102bに変調電圧信号を印加すれば、変調電圧信号に応じてアーム102a, 102bで位相の変化が起こり、結果として出力される光の強度が変調される。良好な光変調を行うためには、先ず、アーム102a, 102bに印加する変調信号が、位相差を π だけ変化させるのに十分大きな振幅を持つ必要がある。それに加えて、変調電圧信号のオフレベルにおいて位相差が π となり、オンレベルにおいて位相差が0となるように、アーム102a, 102bを通過した光の位相差を制御することが必要である。アーム102a, 102bを通過する光の位相差は、製造誤差等に依存して各々の変調器素子ごとに異なるため、変調器素子ごとに位相を調整する必要がある。

[0006] アーム102a, 102b間の位相差を制御する方法としては、変調電極

103a, 103bとは別に位相制御用の電極を少なくとも一方のアームに形成し、この位相制御用の電極に印加する電圧を調整して少なくともどちらか一方のアームの屈折率を変化させ、位相を変える方法がある。アーム102a, 102b間の位相差を制御する別の方法としては、変調電極103a, 103bに印加するDCバイアスに差をつける方法がある。一般的に半導体MZ型変調器では、数V程度のDCバイアスを印加して変調動作を行うが、このDCバイアスをアーム102a, 102b間で差を付けることによって、アーム102a, 102b間の位相差を調整することができる。

[0007] 一方、MZ型光変調器では、変調時に出力光の波長が変動する、いわゆる波長チャープという現象が生じる。この波長チャープは、光ファイバ伝送後の光変調波形が劣化する要因となる。そのため、MZ型光変調器において十分な変調特性を得るためには、波長チャープを精密に制御する必要がある。波長チャープの制御技術としては、波長チャープの量を極力小さくするゼロチャープ動作の技術、伝送後の光波形に改善が見られるような波長チャープを意図的に付加する負チャープ動作の技術がある。これらのチャープ制御技術は、変調電圧信号を印加した場合に、アーム102a, 102bにおいて発生する光の位相変化の振幅の比率を調整することによって実現される。ゼロチャープ動作では、高周波電圧である変調信号を印加した場合にアーム102a, 102bにおいて発生する光の位相変化の振幅の比率を1:1に固定することが望ましい。負チャープ動作では、一方のアームと他方のアームとにおいて発生する光の位相変化の振幅の比率を、例えば0.85:0.15程度に固定することが望ましい。

[0008] 上記の比率は、例えば、アーム102a, 102bに印加される電圧信号の振幅の比率を調整することにより実現される。ゼロチャープ動作を実現するには、アーム102a, 102bに振幅が同じで且つ方向が逆となるような変調信号を印加し、アーム102a, 102bで発生する位相変化の量が同じで且つ方向が逆になるようにする。負チャープ動作を実現するには、例えば、アーム102a, 102bで振幅の大きさが異なり、且つ方向が逆と

なる変調信号を印加し、アーム 102a, 102b のうちで片方の位相変化量が大きくなるようにする。

以上のように、MZ型光変調装置では、良好な変調特性を得るためには、アーム 102a, 102b 間における位相差の制御及びアーム間の位相変化の振幅の比率の制御の双方を適切に行うことが要求される。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特表2007-531022号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 近年、上記のような半導体MZ変調器を搭載した光送受信機モジュールの小型化が強く求められている。

上記のような光送受信機モジュールの小型化には、変調器自身が小さいことが先ず必要である。また、変調器の小型化だけではなく、変調器を含む変調器モジュールの小型化、簡素化が重要となる。この場合、前述した位相の制御方法のうち、変調電極とは別に位相制御用の電極を用いる方法では、変調器モジュールにおける接続用の電極ピンの数が増えることになり、小型化には不向きである。また、位相制御用の電極の付加に伴って変調器の制御パラメータが1つ増えることになるため、制御回路の構成が複雑になるという問題もある。

[0011] DCバイアスを変調電極に印加する位相の調整方法について考察する。この場合、半導体MZ型光変調器のパッケージの小型化等には適しているが、以下に説明するように、波長チャープの制御が困難であるという半導体MZ型変調器に特有の問題がある。

半導体MZ型光変調器では、一般的に、光導波路に逆電圧の変調信号を印加して屈折率を変化させて変調動作を実現する。ここで逆電圧の変調信号の印加とは、半導体MZ型光変調器のp側電極に負のバイアスを、n側電極に

正のバイアスをそれぞれ印加することを意味する。以降、光導波路に逆電圧を印加することを、単に電圧を印加すると記載する。

- [0012] 変調器の光導波路に変調信号を印加した場合の位相変化の様子を図20Aに示す。図示のように、光導波路では、変調信号に対してほぼ二次関数の関係で位相変化が生じる。換言すれば、印加するDCバイアスにほぼ比例して、位相変化の効率が高くなる。即ち、同じ振幅の変調電圧信号を光導波路に印加した場合でも、印加されているDCバイアスに依存して発生する位相変化量が変化する。

変調器において、DCバイアスにより位相差を調整する場合には、光導波路である2本のアームの変調電極に印加するDCバイアスをずらして調整するが、DCバイアスをずらすと上記のような理由で2本のアームの間で位相変化の効率の関係が変化する。

- [0013] 図19のような、変調電極103a, 103bの長さが同じである変調器の場合では、アーム102a, 102bに印加した電圧と位相変化の関係は同じである。必要な位相差の調整量、即ち必要なDCバイアスの差は、製造誤差等により各々の半導体MZ光変調器で異なる。例えば図20Aのように、ある変調器では必要な位相差の調整量が $\Delta\phi$ であるとする。このとき、アーム102a, 102bに印加するDCバイアスが V_{DC1} , V_{DC2} のときに位相差が適切な値になる。これに対して、別の変調器では、必要な位相差の調整量が $\Delta\phi'$ であり、 V_{DC1} , V_{DC2}' のときに位相差が適切な値になる。

その結果、図20Bに示すように、アーム102a, 102b間における位相変化の効率の関係は、変調器ごとで異なるものとなる。図20Bにおいて、位相変化の効率とは、図20Aにおける位相のDCバイアスに対する変化率（微分値）である。

- [0014] 背景技術において示したように、波長チャープの制御には2つのアーム（導波路）で発生する位相変化量の比率を精密に調整する必要がある。上記のようにDCバイアスで位相制御を行った場合には、2つのアーム間の電圧信号に対する位相変化の効率にずれが生じ、MZ光変調器ごとにアーム間の位

相変化の振幅の比率が変わってしまう。そのため、2つのアームで発生する位相変化量の比率を精密に調整することができず、良好なチャープ特性を得ることができなくなる。

[0015] 位相変化の効率の変化分について、変調信号の大きさの比率を変えることにより、位相変化量を調整することも考えられる。しかしながらこの場合、2種の変調電圧信号を発生し、且つ2種の変調電圧信号の振幅を独立に任意に調整できるような複雑な駆動回路が必要となるが、このような回路は実現困難である。特に、小型光送受信機に搭載できるような駆動回路の実現はほぼ不可能である。このように、DCバイアスによる位相制御では、波長チャープを精密に制御することは難しい。

従って現状では、半導体MZ光変調器において、小型で簡素な素子構造で、且つ複雑な制御回路を用いずに、位相制御及び波長チャープの双方を適切に調節することは困難である。

[0016] 本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、半導体MZ型変調器において第1及び第2の光導波路間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構造で実現することを可能とし、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調を実現する光変調装置、光変調装置の制御方法、及び光変調装置の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0017] 光変調装置の一態様は、入力した光を分岐して伝搬し、伝搬した光を合波して出力する半導体マッハ・ツェンダ型変調器を用いた光変調装置であって、前記半導体マッハ・ツェンダ変調器は、分岐した光を伝搬する第1の光導波路及び第2の光導波路と、前記第1の光導波路に第1の変調信号及び第1のDCバイアスを印加する第1の電極と、前記第2の光導波路に第2の変調信号及び第2のDCバイアスを印加する第2の電極とを含み、前記第1の電極の長さ L_1 と前記第1のDCバイアス V_1 との積 L_1V_1 と、前記第2の電極の長さ L_2 と前記第2のDCバイアス V_2 との積 L_2V_2 との比率を一定値に保つように、前記第1のDCバイアス及び前記第2のDCバイアスが印加される。

[0018] 光変調装置の駆動方法の一態様は、入力した光を分岐して伝搬し、伝搬した光を合波して出力する半導体マッハ・ツェンダ型変調器を用いた光変調装置の駆動方法であって、分岐した光を伝搬する第1の光導波路及び第2の光導波路と、前記第1の光導波路に第1の変調信号及び第1のDCバイアスを印加する第1の電極と、前記第2の光導波路に第2の変調信号及び第2のDCバイアスを印加する第2の電極とを含む光変調装置について、前記第1の電極の長さ L_1 と前記第1のDCバイアス V_1 との積 $L_1 V_1$ と、前記第2の電極の長さ L_2 と前記第2のDCバイアス V_2 との積 $L_2 V_2$ との比率を一定値に保つように、前記第1の光導波路及び前記第2の光導波路に前記第1のDCバイアス V_1 及び前記第2のDCバイアス V_2 を印加する。

[0019] 光変調装置の製造方法の一態様は、入力した光を分岐して伝搬し、伝搬した光を合波して出力する半導体マッハ・ツェンダ型変調器を用いた光変調装置の製造方法であって、前記半導体マッハ・ツェンダ型変調器を作製する際に、分岐した光を伝搬する第1の光導波路及び第2の光導波路を形成する工程と、前記第1の光導波路上に、前記第1の光導波路に第1の変調信号及び第1のDCバイアスを印加するための第1の電極と、前記第2の光導波路上に、前記第2の光導波路に第2の変調信号及び第2のDCバイアスを印加するための第2の電極とを形成する工程とを含み、更に、前記第1の電極の長さ L_1 と前記第1のDCバイアス V_1 との積 $L_1 V_1$ と、前記第2の電極の長さ L_2 と前記第2のDCバイアス V_2 との積 $L_2 V_2$ との比率を一定値に保つ、前記第1のDCバイアス V_1 及び前記第2のDCバイアス V_2 を決定する工程を含む。

発明の効果

[0020] 上記の各態様によれば、第1及び第2の光導波路間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構成で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現する。

図面の簡単な説明

[0021] [図1] 図1は、第1の実施形態による光変調装置に用いる半導体MZ変調器を示す概略平面図である。

[図2A]図2Aは、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 1 : 1$ の場合における印加電圧に対する位相を示す特性図である。

[図2B]図2Bは、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 1 : 1$ の場合における印加電圧に対する位相変化の効率を示す特性図である。

[図3A]図3Aは、 $V_{DC1} : V_{DC2} = L_2 : L_1$ の場合における印加電圧に対する位相を示す特性図である。

[図3B]図3Bは、 $V_{DC1} : V_{DC2} = L_2 : L_1$ の場合における印加電圧に対する位相変化の効率を示す特性図である。

[図4A]図4Aは、第1の実施形態による光変調装置に用いる半導体MZ変調器を示す概略平面図である。

[図4B]図4Bは、第1の実施形態による光変調装置に用いる半導体MZ変調器を示す概略断面図である。

[図5]図5は、図4A及び図4Bの半導体MZ変調器を搭載した変調器モジュールを示す概略平面図である。

[図6]図6は、図5の変調器モジュールを搭載した光変調装置を示す概略平面図である。

[図7]図7は、第1の実施形態による光変調装置の他の例を示す概略平面図である。

[図8]図8は、第1の実施形態による光変調装置の製造方法を工程順に示すフロー図である。

[図9]図9は、第1の実施形態において、 $V_{DC1} : V_{DC2} = A : B = 1 : 1$ の場合における位相及び位相変化の効率を示す特性図である。

[図10]図10は、第1の実施形態において、位相差を調整する際に用いる消光カーブを示す特性図である。

[図11]図11は、第1の本実施形態によるMZ型光変調装置の駆動方法を示すフロー図である。

[図12]図12は、第2の実施形態において、位相差を調整する際に用いる消光カーブを示す特性図である。

[図13]図13は、第3の実施形態において、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 2.5 : 1$ の場合における位相及び位相変化の効率を示す特性図である。

[図14]図14は、第3の実施形態において、位相差を調整する際に用いる消光カーブを示す特性図である。

[図15]図15は、第4の実施形態による光変調装置に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器を示す概略平面図である。

[図16]図16は、図15の半導体マッハ・ツェンダ変調器を搭載した変調器モジュールを示す概略平面図である。

[図17]図17は、図16の変調器モジュールを搭載した光変調装置を示す概略平面図である。

[図18]図18は、第4の実施形態による光変調装置の他の例を示す概略平面図である。

[図19]図19は、従来の光変調装置に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器の一例を示す概略平面図である。

[図20A]図20Aは、変調器素子の光導波路に印加した電圧に対する位相の関係を示す特性図である。

[図20B]図20Bは、変調器素子の光導波路に印加した電圧に対する位相変化の効率の関係を示す特性図である。

発明を実施するための形態

[0022] ー半導体マッハ・ツェンダ変調器の基本構成ー

図1は、本実施形態における光変調装置に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器を示す概略平面図である。

この半導体MZ型変調器10は、第1の光カプラ1、アーム2a, 2b、第2の光カプラ4を構成する半導体光導波路と、変調電極3a, 3bとを備えて構成される。

第1の光カプラ1は、入力ポート1aを有しており、入射光を2つに分岐する入力カプラである。アーム2a, 2bは、2本の分岐された光が伝播する導波路である。変調電極3a, 3bは、アーム2a, 2bにそれぞれ変調

信号を印加するための電極である。変調電極 3 a と変調電極 3 b とでは、後述するように、相異なる長さに形成されている。第 2 の光カプラ 4 は、出力ポート 4 a を有しており、アーム 2 a, 2 b を伝播した光を合波（結合）する出力カプラである。

[0023] 2 本のアーム 2 a, 2 b は、それぞれ一端が第 1 の光カプラ 1 と、他端が第 2 の光カプラ 4 と接続されている。入力ポート 1 a から第 1 の光カプラ 1 に入射した光は、アーム 2 a, 2 b で分岐し、それぞれアーム 2 a, 2 b を通過した後に、第 2 の光カプラ 4 で合波されて出力ポート 4 a から出力する。この合波時における光の干渉状態により、出力光のオン／オフが切り替えられる。アーム 2 a, 2 b を通過した光が出力ポート 4 a において合波される際の位相差が 0（又は $2N\pi$ 、 N は整数）の場合には、互いに強め合う干渉状態となるため、出力ポート 4 a から光が出力されるオン状態となる。一方、アーム 2 a, 2 b を通過した光が出力ポート 4 a において合波される際の位相差が π （又は $(2N+1)\pi$ ）の場合には、互いに弱め合う干渉状態となるため、出力ポート 4 a から光が出力されないオフ状態となる。このように、入力ポート 1 a から入射された光は、アーム 2 a, 2 b の位相差に応じて強度を変えて出力ポート 4 a から出力する。

[0024] アーム 2 a, 2 b を通過する光の位相を調整するには、アーム 2 a には変調電極 3 a から第 1 の DC バイアス及び第 1 の変調信号を、アーム 2 b には変調電極 3 b から第 2 の DC バイアス及び第 2 の変調信号をそれぞれ印加する。

アーム 2 a, 2 b には、変調電極 3 a の長さとの積と、変調電極 3 b の長さとの積との比率が一定値に保たれるように、第 1 の DC バイアス及び第 2 の DC バイアスが印加される。ここで、DC バイアスとは、変調信号のオン／オフの中間点における直流バイアス値、即ちセンターバイアスのことを言う。

[0025] 半導体光導波路における光の位相変化は、印加する電圧の 2 乗にほぼ比例するため、電圧変化に対する位相変化の効率は DC バイアス V_{DC} にほぼ比例

して高くなる。また、位相変化の効率は、変調電極の長さ L にも比例して高くなる。即ち、位相変化の効率 η は、以下のように、DCバイアス V_{DC} と変調電極の長さ L との積に比例する。

$$\eta = \alpha V_{DC} L \quad \alpha : \text{比例係数} \quad \cdots (1)$$

[0026] アーム2 a, 2 bの変調電極3 a, 3 bの長さをそれぞれ L_1 , L_2 とし、変調電極3 a, 3 bに印加するDCバイアスを V_{DC1} , V_{DC2} とすると、アーム2 a, 2 bの位相変化の効率 η_1 , η_2 は、以下ようになる。ここで、「変調電極の長さ」とは、当該変調電極が、アームを形成する導波路と電氣的に接続されている部分の、当該アームの長手方向に沿った長さを言う。以下の諸実施形態でも同様である。

$$\eta_1 = \alpha L_1 V_{DC1} \quad \cdots (2)$$

$$\eta_2 = \alpha L_2 V_{DC2} \quad \cdots (3)$$

[0027] ここで、 V_{DC1} と V_{DC2} を一定の比率、 $V_{DC1} : V_{DC2} = A : B$ に固定した場合、 η_1 と η_2 の比率は以下ようになる。

$$\eta_1 : \eta_2 = A L_1 : B L_2 \quad \cdots (4)$$

変調電極3 a, 3 bの長さは、変調器素子10の作製時に決定するため、 L_1 , L_2 は固定の値である。従って、2つのアーム間のDCバイアスの比率を固定した場合には、 η_1 と η_2 との比率、即ち、長さ L_1 と第1のDCバイアス V_{DC1} との積と、長さ L_2 と第2のDCバイアス V_{DC2} との積との比率は一定値に固定される。

[0028] 上記のように、第1及び第2のDCバイアス V_{DC1} , V_{DC2} の比率を固定した状態で、アーム2 a, 2 bに印加する V_{DC1} , V_{DC2} を増減させると、 $A : B = L_2^{1/2} : L_1^{1/2}$ となる場合を除いて、アーム2 a, 2 b間の位相差を変化させることができる。

[0029] 具体例として、 $V_{DC1} : V_{DC2} = A : B = 1 : 1$ の場合における位相及び位相変化の効率を図2 A、図2 Bに、 $V_{DC1} : V_{DC2} = A : B = L_2 : L_1$ の場合における位相及び位相変化の効率を図3 A、図3 Bにそれぞれ示す。センターバイアスに対する位相の値を図2 A、図3 Aに、センターバイアスに対す

る位相変化の効率を図 2 B、図 3 Bにそれぞれ示す。位相変化の効率とは、図 2 A 及び図 3 A における位相の DC バイアスに対する変化率（微分値）である。

[0030] 図 2 A、図 3 A に示すように、アーム 2 a、2 b に印加する DC バイアス V_{DC1} 、 V_{DC2} の比率を固定した場合、 V_{DC1} 、 V_{DC2} をその関係を保ったまま大きくすることにより、アーム 2 a、2 b 間の位相差を大きくすることができる。

即ち、図 2 A では、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 1 : 1$ の関係を保持して DC バイアスを V_{DC1} ($= V_{DC2}$) から V_{DC1}' ($= V_{DC2}$) に増加させた場合、アーム 2 a、2 b 間の位相差は、 $\Delta\phi$ から $\Delta\phi'$ に増加する。

図 3 A では、 $V_{DC1} : V_{DC2} = L_2 : L_1$ の関係を保持して DC バイアス V_{DC1} を V_{DC1}' に、DC バイアス V_{DC2} を V_{DC2}' に増加させた場合、アーム 2 a、2 b 間の位相差は、 $\Delta\phi$ から $\Delta\phi'$ に増加する。

[0031] 位相変化の効率について考察する。

変調器素子 10 において、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 1 : 1$ とした場合について考える。このとき、アーム 2 a、2 b で発生する位相変化の効率の比率 $\eta_1 : \eta_2$ は、式 (4) から変調電極 3 a、3 b の長さの比率 $L_1 : L_2$ で固定される。即ち、図 2 B に示すように、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 1 : 1$ の関係を保持して DC バイアスを V_{DC1} ($= V_{DC2}$) から V_{DC1}' ($= V_{DC2}$) に増加させた場合でも、位相変化の効率の比率は、 $\eta_1 : \eta_2 = \eta_1' : \eta_2' = L_1 : L_2$ と不変である。

従って、先ず、変調電極 3 a、3 b を、その長さ L_1 、 L_2 が最適なチャープ特性を得るのに適した位相変化量（位相変化の効率）の比率となるように形成する。この条件で、変調電極 3 a、3 b によりアーム 2 a、2 b に同じ振幅の第 1 の変調信号及び第 2 の変調信号を印加することにより、適切なチャープ特性を得ることができる。特に、比率 $L_1 : L_2$ を 1 : 4 ~ 1 : 5 程度となるように変調電極 3 a、3 b を形成すれば、LN-MZ 型光変調装置における負チャープ動作のチャープ特性と同等のチャープ特性（ α パラメータ

＝－0.7)を得ることができる。

- [0032] 変調器素子10において、変調電極3a, 3bに印加するDCバイアスの比率を、変調電極3a, 3bの長さの比率とは逆、即ち、 $V_{DC1} : V_{DC2} = L_2 : L_1$ とした場合について考える。このとき、アーム2a, 2b間で位相変化の効率の比率 $\eta_1 : \eta_2$ を1 : 1とすることができる。即ち、図3Bに示すように、 $V_{DC1} : V_{DC2} = L_2 : L_1$ の関係を保持してDCバイアス V_{DC1} を V_{DC1}' に、DCバイアス V_{DC2} を V_{DC2}' に増加させた場合でも、位相変化の効率の比率は、式(4)から $\eta_1 : \eta_2 = \eta_1' : \eta_2' = 1 : 1$ と不変である。

この条件で、変調電極3a, 3bに同じ振幅の変調電極3a, 3bによりアーム2a, 2bに同じ振幅の第1及び第2の変調信号を印加する。これにより、波長チャープが殆ど発生しないチャープ特性(α パラメータ $\cong 0$)のゼロチャープ動作を実現することができる。

変調電極3a, 3bに印加する第1及び第2の変調信号の振幅を同じ値にして、最適なチャープ特性を得ることができるため、簡素な駆動回路を用いることが可能となる。

- [0033] 以上のように、本実施形態による半導体マッハ・ツェンダ変調器を用いた光変調装置では、アーム2a, 2b間の位相変化の効率の比率を一定に固定した状態で、アーム2a, 2b間の位相差を調整することが可能である。その結果、アーム2a, 2b間の位相差の調整とチャープ特性の精密な制御とを両立して行うことができる。また、この光変調装置を駆動する際には、位相差を調整するときに変調電極3a, 3bに印加するDCバイアスを調整するだけで良い。そのため、位相制御用の電極を別途に設ける必要がなく、変調器及び変調器モジュールの小型化が実現する。

- [0034] 一具体的な諸実施形態一

以下、具体的な諸実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

- [0035] (第1の実施形態)

図４Ａ及び図４Ｂは、第１の実施形態における光変調装置に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器を示す概略図であり、図４Ａが平面図、図４Ｂが図４Ａにおける破線Ⅰ－Ⅰに沿った断面図である。

図５は、図４の半導体マッハ・ツェンダ変調器を搭載した変調器モジュールを示す概略平面図である。

図６は、図５の変調器モジュールを搭載した光変調装置を示す概略平面図である。

[0036] 本実施形態による光変調装置（光送信器）に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器２０は、図４Ａに示すように、第１の光カプラ１１、アーム１２ａ、１２ｂ、第２の光カプラ１４を構成する半導体導波路、及び変調電極１３ａ、１３ｂ、を備えて構成される。

[0037] 第１の光カプラ１１は、入力ポート１１ａを有しており、入射光を２つに分岐する、いわゆる２×２ＭＭＩカプラである。アーム１２ａ、１２ｂは、２本の分岐された光が伝播する光導波路である。変調電極１３ａ、１３ｂは、アーム１２ａ、１２ｂの光導波路上に形成されており、アーム１２ａ、１２ｂに第１の変調信号及び第２の変調信号を印加するための電極である。変調電極１３ａ、１３ｂは、変調信号が入力される部位と出力される部位とを有する、いわゆる進行波型のマイクロストリップライン構造に形成される。変調電極１３ａと変調電極１３ｂとでは、後述するように、相異なる長さに形成されている。第２の光カプラ１４は、出力ポート１４ａを有しており、アーム１２ａ、１２ｂを伝播した光を合波（結合）する２×２ＭＭＩカプラである。

[0038] なお、変調電極１３ａ、１３ｂとしては、マイクロストリップライン構造に限定されるものではない。例えば、上面に、変調電極と平行にグランド電極を形成したコプレーナ電極構造、集中定数型の電極等を用いても良い。

[0039] ２本のアーム１２ａ、１２ｂは、それぞれ一端が第１の光カプラ１１と、他端が第２の光カプラ１４と接続されている。入力ポート１１ａから第１の光カプラ１１に入射した光は、アーム１２ａ、１２ｂで分岐し、それぞれア

ーム12a, 12bを通過した後に、第2の光カプラ14で合波されて出力ポート14aから出力する。この合波時における光の干渉状態により、出力光のオン／オフが切り替えられる。ーム12a, 12bを通過した光が出力ポート14aで合波する際の位相差が0（又は $2N\pi$ 、Nは整数）の場合には、互いに強め合う干渉状態となるため、出力ポート14aから光が出力されるオン状態となる。一方、ーム12a, 12bを通過した光が出力ポート14aで合波する際の位相差が π （又は $(2N+1)\pi$ ）の場合には、互いに弱め合う干渉状態となるため、出力ポート14aから光が出力されないオフ状態となる。このように入力ポート11aから入射された光は、ーム12a, 12bの位相差に応じて強度を変えて出力ポート14aから出力する。

[0040] 半導体マッハ・ツェンダ変調器20では、図4A、図4Bに示すように、 n -InP基板21の表面に第1の光カプラ11、ーム12a, 12b、及び第2の光カプラ14を構成する光導波路が形成され、光導波路の側面を覆うように絶縁層22が形成される。ーム12a, 12b上には、変調電極13a, 13bが形成される。 n -InP基板21の裏面には共通のグラウンド電極23が形成される。

[0041] ーム12a, 12bは、図4Bに示すように、メサ構造の半導体光導波路として形成される。ここでは、 n -InP基板21上に、 n -InPクラッド層12A、 i -InP層12B、InGaAsP-MQW（Multiple-Quantum Well）コア層12C、 i -InP層12D、 p -InPクラッド層12E、及びInGaAsPコンタクト層12Fが順次積層されて形成される。InGaAsP-MQWコア層12Cは、例えばInGaAsP層とInP層とが互いに複数積層されてなるものである。

[0042] 絶縁層22は、 n -InP基板21上からーム12a, 12bの側面にかけて形成された SiO_2 膜22aと、 SiO_2 膜22a上に形成された低誘電体樹脂膜22bと、低誘電体樹脂膜22b上に形成された SiO_2 膜22cとを有している。 SiO_2 膜22a, 22bはパシベーション膜として機能する。低誘電体樹脂膜22bは、例えばベンゾシクロブテン（BCB）等を材

料として形成される。

[0043] 半導体マッハ・ツェンダ変調器の作製工程の概要を以下に示す。

まず、図4Bに示されるような12A~12Fの半導体の各層を、例えば一般的なMOCVD法を用いてn-InP基板21上に堆積させる。その後、レジストを用いた一般的なリソグラフィー技術及びドライエッチングにより、第1の光カプラ11、アーム12a、12b、及び第2の光カプラ14および入力ポート11a、出力ポート14aを形成する部位のみを覆うSiO₂等のマスクを形成する。このマスクを用いて各層12A~12Fをドライエッチングする。これにより、メサ構造のアーム12a、12b等が形成される。

[0044] 続いて、マスクを除去した後、CVD法等により、全面に絶縁層22を形成する。そして、レジストを用いた一般的なリソグラフィー技術及びドライエッチングにより、アーム12a、12b上のみ絶縁層22を除去し、開口を形成する。

しかる後、例えばTi/Pt/Auの蒸着及び金メッキを行い、開口内でアーム12a、12bと接続される変調電極13a、13bを形成する。

[0045] なお、本実施形態では、光導波路コア層としてInGaAsP系MQWコア層12Cを用いているが、これに限定されず、例えばAlGaInAs系MQWコア層等の他の半導体MQWコア層を用いて良い。

[0046] 以上のような構成の半導体マッハ・ツェンダ変調器において、アーム12a、12bを通過する光の位相を調整するには、アーム12aには変調電極13aから第1のDCバイアス及び第1の変調信号を、アーム12bには変調電極13bから第2のDCバイアス及び第2の変調信号をそれぞれ印加する。

アーム12a、12bには、変調電極13aの長さとの積と第1のDCバイアスとの積と、変調電極13bの長さとの積と第2のDCバイアスとの積との比率が一定値に保たれた状態で、第1のDCバイアス及び第2のDCバイアスが印加される。

[0047] 本実施形態では、変調電極 13 a, 13 b に、同値の DC バイアス（センターバイアス）と、同振幅で電圧の変化が互いに逆になる第 1 の変調信号及び第 2 の変調信号とを印加する。この条件では、アーム 12 a, 12 b 間の位相変化の効率の比率は、変調電極 13 a, 13 b の長さの比率で固定される。従って、変調電極長の比率を適切に設定することによって、2 つのアーム間の位相変化量の比率を適切に調整し、良好な負チャープ動作を実現することができる。

[0048] 詳細には、以下のようになる。変調電極 13 a が長さ $L_1 = 1.5 \text{ mm}$ に、変調電極 13 b が長さ $L_2 = 0.3 \text{ mm}$ にそれぞれ形成される。 $V_{DC1} : V_{DC2}$ を 1 : 1 に固定する。従って、アーム 2 a, 2 b における位相変化の効率の比率 $\eta_1 : \eta_2$ は、以下の値に固定される。

$$\eta_1 : \eta_2 = L_1 V_{DC1} : L_2 V_{DC2} = L_1 : L_2 = 1.5 : 0.3 = 5 : 1$$

上述のように（図 2 A、図 2 B で示したように）、変調電極 13 a, 13 b の DC バイアスを一致させたままアーム 12 a, 12 b 共に DC バイアスを増減させることにより、アーム 12 a, 12 b 間の位相差を変化させて調整することができる。

[0049] 図 5 に示すように、上記のように構成された半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 を用いて光変調器モジュール 30 が構成される。

半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 は、キャリア 31 上にボンディングされる。半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 を搭載したキャリア 31 は、温度調整用の素子、例えばペルチェ素子 32 上に配置される。キャリア 31 を搭載したペルチェ素子 32 は、モジュールパッケージ 33 の中に実装され、光変調器モジュール 30 が構成される。

[0050] キャリア 31 には、電極 31 a, 31 b, 31 c, 31 d がパターンニングされ、変調器素子 20 の温度モニタ用のサーミスタ 38 が設けられる。電極 31 a は変調電極 13 a の一端と、電極 31 b は変調電極 13 a の他端とそれぞれ例えばワイヤボンディングされる。電極 31 b には、キャリア 31 と接続される例えば 50Ω の終端抵抗 39 が配される。電極 31 c は変調電極

13bの一端と、電極31dは変調電極13bの他端とそれぞれ例えばワイヤボンディングされる。電極31dには、キャリア31と接続される終端抵抗39が配される。

[0051] 半導体マッハ・ツェンダ変調器20の前後には、それぞれコリメートレンズ35が配される。モジュールパッケージ33には、コリメートレンズ35によって平行光となった光を集光するためのレンズ付きの光ファイバ34a, 34bが配されている。光ファイバ34aから出力された光を、変調器素子20に結合し、半導体マッハ・ツェンダ変調器20を通して出力された光を光ファイバ34bに結合する。或いは、逆に、34bから出力された光を、変調器素子20に結合し、変調器素子20を通してから出力された光を光ファイバ34aに結合するようにしても良い。

[0052] モジュールパッケージ33には、半導体マッハ・ツェンダ変調器20を駆動するための電極ピン36a, 36b, 36c, 36d, 37a, 37b, 37c, 37dが設けられる。電極ピン36aは電極31aとワイヤボンディングされる。電極ピン36aは、キャリア31上の電極31aを介して変調電極13aの一端と電氣的に接続される。電極ピン36bは、キャリア31のグランドパターンとワイヤボンディングされてグランド電極として機能する。電極ピン36cと電極ピン36dとは、サーミスタ38とキャリア31のグランドパターンとにそれぞれワイヤボンディングされる。電極ピン37aは電極31cとワイヤボンディングされる。電極ピン37aは、キャリア31上の電極31cを介して変調電極13bの一端と電氣的に接続される。電極ピン37bは、キャリア31のグランドパターンとワイヤボンディングされてグランド電極として機能する。電極ピン37c, 37dはペルチェ素子32とワイヤボンディングされてそれぞれ正極、負極となる。

[0053] 図6に示すように、上記のように構成された光変調器モジュール30を用い光変調装置40が構成される。

電極ピン36a, 36bには、DC電源41a及び高周波信号源42が接続される。電極ピン37a, 37bには、DC電源41b及び高周波信号源

42が接続される。電極ピン36c, 36d, 37c, 37dには、温度コントローラ43が接続される。そして、後述する駆動条件テーブル45の各条件に従って、DC電源41a, 41b、高周波信号源42及び温度コントローラ43を制御する制御回路44が設けられて、MZ型光変調装置40が構成される。駆動条件テーブル45は、MZ型光変調装置の製造段階で作成されて所定のメモリ等に格納される。

[0054] DC電源41aは、制御回路44の制御により、駆動条件テーブル45に記載された第1のDCバイアス V_{DC1} を電極ピン36a, 36b間に印加する。高周波信号源42は、制御回路44の制御により、駆動条件テーブル45に記載された振幅 V_{pp} の高周波信号である第1の変調信号を電極ピン36a, 36b間に印加する。

DC電源41bは、制御回路44の制御により、駆動条件テーブル45に記載された第2のDCバイアス V_{DC2} を電極ピン37a, 37b間に印加する。高周波信号源42は、制御回路44の制御により、駆動条件テーブル45に記載された振幅 V_{pp} の高周波信号である第2の変調信号を電極ピン37a, 37b間に印加する。

DC電源41a, 41b及び高周波信号源42により、変調電極13aには第1のDCバイアス V_{DC1} 及び第1の変調信号が、変調電極13bには第2のDCバイアス V_{DC2} 及び第2の変調信号がそれぞれ印加される。第1の変調信号及び第2の変調信号は、同振幅で電圧の変化が互いに逆となる変調信号である。

[0055] 温度コントローラ43は、サーミスタ38の抵抗を測定して変調器素子20の温度を観測し、その観測した温度を元に、ペルチェ素子32に注入される電流を調整して変調器素子20の温度を調整する。温度コントローラ43は、制御回路44の制御により、変調器素子20が駆動条件テーブル45に記載された駆動温度Tに調節する。

[0056] 本実施形態では、駆動条件テーブル45に基づいた制御回路44の制御により、第1のDCバイアス V_{DC1} と第2のDCバイアス V_{DC2} とが同値とされ

る。そこで、図 7 に示すように、DC 電源 4 1 b を省略し、DC 電源 4 1 a のみを設けるようにしても良い。この場合、電極ピン 3 6 a, 3 6 b 及び電極ピン 3 7 a, 3 7 b に DC 電源 4 1 a が接続される。DC 電源 4 1 a は、制御回路 4 4 の制御により、駆動条件テーブル 4 5 に記載された DC バイアス V_{DC} を電極ピン 3 6 a, 3 6 b 間及び電極ピン 3 7 a, 3 7 b 間に印加する。このとき、変調電極 1 3 a, 1 3 b には共に同値の DC バイアス V_{DC} が印加される。

[0057] 以下、光変調装置 4 0 の製造方法について説明する。図 8 は、MZ 型光変調装置 4 0 の製造方法を工程順に示すフロー図である。

[0058] まず、変調器素子の作製を行う（ステップ 1）。ステップ 1 の工程は、先に示した通りであり、ここでは省略する。

次に、駆動条件テーブル 4 5 を作成するための半導体マッハ・ツェンダ変調器の特性評価を行い、駆動条件テーブル 4 5 を作成する（ステップ S 2）。

駆動条件テーブル 4 5 には、変調器素子 2 0 の駆動温度 T 、第 1 の DC バイアス V_{DC1} 、第 2 の DC バイアス V_{DC2} （本実施形態では $V_{DC1} = V_{DC2}$ ）、高周波信号の振幅 V_{pp} が記載される。 V_{DC1} 、 V_{DC2} 、 V_{pp} は、半導体マッハ・ツェンダ変調器 2 0 を駆動温度 T に調節した状態において良好な変調動作を行うことができる値である。

[0059] 次に、光変調器モジュール 3 0 を作製する（ステップ S 3）。

図 6 のように、半導体マッハ・ツェンダ変調器 2 0 をキャリア 3 1 上にボンディングし、キャリア 3 1 をペルチェ素子 3 2 上に配置し、ペルチェ素子 3 2 をモジュールパッケージ 3 3 の中に実装する。

なお、駆動条件テーブル 4 5 を作成するステップ S 2 は、このステップ S 3 で光変調器モジュール 3 0 を作製した後に、実行しても良い。

[0060] しかる後、MZ 型光変調装置 4 0 を作製する（ステップ S 4）。

図 7 のように、光変調器モジュール 3 0 に、DC 電源 4 1 a, 4 1 b、高周波信号源 4 2、温度コントローラ 4 3 をそれぞれ接続し、制御回路 4 4 を

接続する。制御回路 4 4 には、駆動条件テーブル 4 5 が格納されたメモリが接続される。

[0061] 以下、駆動条件テーブル 4 5 を作成するステップ S 2 について詳述する。

本実施形態のように、アーム 1 2 a, 1 2 b の変調電極 1 3 a, 1 3 b に、互いに電圧の変化が逆になるような第 1 及び第 2 の変調信号を印加する場合について考える。このとき、消光比が高く取れる良好な変調動作を行うためには、アーム 1 と 2 の間の位相差を適切に調整する必要がある。即ち、変調電極 1 3 a に印加する第 1 の変調信号がオンレベル（高い方の電圧レベル）であり、且つ変調電極 1 3 b に印加する第 2 の変調信号がオフレベル（低い方の電圧レベル）にある場合に、光の信号レベルがオンレベルになるようにする。逆に、第 1 の変調信号がオフレベルで第 2 の変調信号がオンレベルの場合に、光の信号レベルがオフレベルになるようにする。

[0062] 本実施形態のような半導体マッハ・ツェンダ変調器では、例えば、光の入力ポートを上側の 1 1 a とし、出力ポートを下側の 1 4 a とした場合、アーム 1 2 a, 1 2 b を通過した光が出力ポート 1 4 a において合波した際の位相差が、0（又は $2N\pi$ 、 N は整数）の場合に、光は下側の出力ポート 1 4 a から出力される。そのため、光の信号レベルがオンレベルになる。アーム 1 2 a, 1 2 b を通過した光が出力ポート 1 4 a において合波した際の位相差が π （又は $(2N+1)\pi$ ）の場合には、上側の出力ポートから光が出力され、下側の出力ポートからは殆ど出力されない。そのため、光の信号レベルがオフになる。

[0063] 従って、第 1 の変調信号がオンレベルであり、第 2 の変調信号がオフレベルである場合に、位相差が $2N\pi$ となるように、アーム 1 2 a, 1 2 b 間で位相差を調整する必要がある。換言すれば、第 1 の変調信号がオフレベルであり、第 2 の変調信号がオンレベルである場合に、位相差が $(2N+1)\pi$ となるようする必要があるとも言える。また、第 1 及び第 2 の変調信号のオンレベルとオフレベルの中央値であるセンターバイアスにおいて、位相差がほぼ $(2N+0.5)\pi$ となるようにする必要があると言い換えることもできる。

。

[0064] 本実施形態のような 2×2 のMMIを入出力のカプラとして用いた半導体マッハ・ツェンダ変調器20が理想的に作製された場合には、入力ポートを上側の11aとし、出力ポートを下側の14aとすれば、変調電極13a, 13bに電圧を印加していない状態では、アーム12a, 12bを通過した光の位相差は0となる。

しかしながら実際には、作製誤差等により、位相差は正確に0ではなく、有限の値 $\Delta\theta$ を持つことになる。この $\Delta\theta$ は作製誤差等により生じるものであるため、同じ仕様の半導体マッハ・ツェンダ変調器20を作製したとしても、半導体マッハ・ツェンダ変調器20の各々で異なる値を持つ。従って、DCバイアス（センターバイアス）を用いてアーム12a, 12b間の位相差を $(2N+0.5)\pi$ とするためには、この作製誤差による初期的なアーム12a, 12b間の位相差を考慮に入れることを要する。即ち、DCバイアスを印加することにより発生するアーム12a, 12b間の位相差の量を、 $(2N+0.5)\pi - \Delta\theta$ とする必要がある。

[0065] DCバイアスを増減させることにより位相差を調整する駆動方法を説明するために、図2を書き換えたものを図9に示す。

本実施形態では、DCバイアスをアーム12a, 12bで一致させた状態でDCバイアスを増減させるが、変調電極13a, 13bの長さが異なるため、同じ電圧を印加しても、アーム12a, 12bで発生する位相変化量は異なる。その結果として、アーム12a, 12bの位相差もセンターバイアスの値を増減させることにより変化する。両アームのDCバイアスを大きくしてゆくほど、アーム12a, 12b間の位相差が大きくなってゆく。そのため、位相差が例えば $0.5\pi - \Delta\theta$ となるVまで、変調電極13a, 13bにDCバイアスを印加すれば、アーム12a, 12b間の位相差を適切に合わせることが可能となる。また、例えば別の変調器素子20において初期位相差が $\Delta\theta'$ であれば、位相差が $0.5\pi - \Delta\theta'$ の値となるようにアーム12a, 12bのDCバイアスを図9のV'に設定すれば良い。

[0066] 上述したように、 $\Delta\theta$ の値は半導体マッハ・ツェンダ変調器20ごとに異なる値を持つため、変調器素子20ごとに必要なDCバイアスの値は異なる。本実施形態のように、DCバイアスを変調電極13a, 13bで一致させた場合には、DCバイアスの値によらず、アーム12a, 12bで発生する位相変化量の比率を固定できる。そのため、波長チャープの特性は殆ど変わらない。その結果、適切なアーム12a, 12b間の位相差の制御と、精密な波長チャープの制御を両立することが可能となり、変調器素子20において良好な変調特性を得ることができるようになる。

[0067] 本実施形態のDCバイアスによる位相差の調整は、原理的には以上のように考えることができるが、実際に調整する場合にはそれぞれのアームの位相の変化を直接観察することは難しい。そこで本実施形態では、ステップS1において、以下のような手順で位相差を調整し、DCバイアスの駆動条件テーブルを作成する。

変調電極13a, 13bに印加する第1のDCバイアス及び第2のDCバイアスを一致させた状態で、第1のDCバイアス（又は第2のDCバイアス）を0Vから数Vまで変化（スイープ）させる。このとき、出力ポート（この場合は、出力ポート14a）から出力される光の強度を観測すると、例えば図10のようないわゆる消光カーブが得られる。この消光カーブは、アーム間の位相差により干渉の状態が変わって出力光強度が変化する様子を表しており、アーム12a, 12b間の位相差が、極大の部分で $2N\pi$ 、極小の部分で $(2N+1)\pi$ となっている。アーム12a, 12b間の位相差が、 $(2N+0.5)\pi$ となるのは、極大と極小の midpoint となるセンターバイアス $V_{c,b}$ を印加した場合である。従って、このセンターバイアス $V_{c,b}$ に、アーム12aに印加する第1のDCバイアスを合わせることにより、上述した位相調整がなされることになる。本実施形態では、アーム12aに印加する第1のDCバイアスとアーム12bに印加する第2のDCバイアスとは同値であるため、アーム12bに印加する第2のDCバイアスもセンターバイアス $V_{c,b}$ とすれば良い。

[0068] なお、この消光カーブは、本実施形態のような半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 が理想的に作製されたとすれば、アーム 12 a, 12 b 間の初期位相差が 0 である場合に、図 10 の実線のように、消光カーブがバイアス 0 のところで極大値となる。変調器素子 20 に作製誤差があり、それによって発生する初期位相差がある場合には、図 10 の破線のように、消光カーブが横軸方向にずれ、消光カーブがバイアス 0 以外のところでピークを持つようになる。

[0069] 従って、実線のように半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 が理想的に作製された場合には、アーム 12 a に印加する DC バイアスを図 10 のセンターバイアス $V_{c,b}$ の値とすれば良い。破線のようにアーム 12 a, 12 b 間に初期位相差が存在する場合には、アーム 12 a に印加する第 1 の DC バイアス V_{DC1} を図 10 のセンターバイアス $V_{c,b}'$ の値とすれば良い。このように、半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 の製造ばらつきに依存して発生する初期位相差により、極大と極小の midpoint となるセンターバイアスが変わるため、位相が適切に調整されている DC バイアスも半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 ごとに異なる。

[0070] 上記のような、消光カーブの評価による位相差の調整は、実際に変調動作を行いながら調整を行うのは困難である。従って、本実施形態では、半導体マッハ・ツェンダ変調器 20（又は変調器素子モジュール 30）の製造段階で、図 10 のような消光カーブの評価を行い、第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} （本実施形態では $V_{DC1} = V_{DC2}$ ）を、駆動温度 T 下で予め決定する。そして、決定された V_{DC1} , V_{DC2} を駆動温度 T と共に駆動条件テーブル 45 に記載する。

[0071] 一般的に、半導体光導波路では、電圧を印加した場合の導波路の位相変化は経時劣化がきわめて少ない。そのため、製造段階で上記のように駆動条件テーブルを作成し、これに基づいて半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 を駆動すれば、半永久的に良好な変調動作を保つことが可能である。

[0072] 一般的に、MZ 型光変調器では、例えば通信波長帯の C-band 帯全域で動作

可能であることが望ましい。MZ型光変調器では、半導体光導波路に電圧を印加した場合の位相変化量の波長依存性に起因して、波長ごとに特性が異なる。その結果、上記のような最適に位相が合ったDCバイアスの条件は、波長ごとに異なる。従って、基本的に波長ごとに別途にDCバイアスの条件を評価する必要がある。位相の合うDCバイアスは比較的波長に対して単純な関係を持っているため、数波長で消光カーブの評価を行ってDCバイアスの最適値を求め、その結果を元に、評価を行った波長の間の波長については補完してDCバイアスを求めれば良い。例えば、C-bandの短波側、長波側の端及び中心における波長の3波長において、上記のような消光カーブの評価によるDCバイアスの調整を行えば良い。調整を行った波長間の波長におけるDCバイアスについては、線形補完、又はDCバイアスと波長の関係を二次関数でフィッティングした関係を用いて補完する等して、全ての波長におけるDCバイアスの条件を求めれば良い。

[0073] ステップS1では、以上のようにして各波長で求めたセンターバイアス V_{b0} に第1及び第2のDCバイアス V_{DC1} 、 V_{DC2} を設定した条件において、十分な消光比がとれるような第1及び第2の変調信号の振幅(V_{pp})を予め決定する。そして、決定された V_{pp} を駆動条件テーブル45に記載する。

第1及び第2の変調信号の振幅の調整は、例えば変調波形のアイパターンを観察して、十分な消光比が確保できる程度に大きい V_{pp} を決定すれば良い。 V_{pp} に関しても、半導体マッハ・ツェンダ変調器20では波長ごとに最適値が異なる。この場合、第1及び第2のDCバイアス V_{DC1} 、 V_{DC2} の決定と同じように、数波長で最適な V_{pp} を実験的に求めておき、間の波長を単純な関係で補完すれば良い。

[0074] 以下、上記のように作成した駆動条件テーブルに基づいて、本実施形態による光変調装置の駆動方法について説明する。図11は、第1の本実施形態による光変調装置の駆動方法を示すフロー図である。

先ず、制御回路44は、駆動条件テーブル45から半導体マッハ・ツェンダ変調器20の駆動温度 T を読み込む(ステップS11)。

次に、温度コントローラ 43 は、制御回路 44 の制御により、半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 の温度を一定の駆動温度 T （例えば 25°C ）に調整する（ステップ S12）。

[0075] 次に、制御回路 44 は、駆動条件テーブル 45 からアーム 12a, 12b に印加する第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} を読み込む（ステップ S13）。

次に、DC 電源 41a, 41b は、制御回路 44 の制御により、電極ピン 36a, 36b 及び電極ピン 37a, 37b を介して、アーム 12a, 12b の変調電極 13a, 13b に、読み込んだ第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} を印加する（ステップ S14）。

[0076] 次に、制御回路 44 は、駆動条件テーブル 45 から高周波信号の振幅 V_{pp} を読み込む（ステップ S15）。

次に、高周波信号源 42 は、制御回路 44 の制御により、アーム 12a, 12b の変調電極 13a, 13b に、電極ピン 36a, 36b 及び電極ピン 37a, 37b を介して、読み込んだ振幅 V_{pp} で、互いに電圧の変化が逆となる高周波信号である第 1 及び第 2 の変調信号を印加する（ステップ S16）。

以上の手順により、変調器素子 20 において良好な変調動作を行うことが可能となる。

[0077] 本実施形態では、半導体マッハ・ツェンダ変調器 20 の構造として、入力側及び出力側の光カプラとして 2×2 MMI カプラを用いる場合を説明したが、この構造に限られるものではない。

入力側の光カプラとしては、入力光を 2 つに分岐できるものであれば良く、出力側の光カプラとしては、2 本のアームから入射した光を結合するものであれば良い。例えば、 1×2 MMI カプラ、Y 分岐カプラ、又は方向性結合器を用いた光カプラ等でも同様に効果が得ることができる。但し、用いる光カプラの組合せによっては、DC バイアスを全く印加していない場合に発生する理想的な位相差が異なるため、これに応じて DC バイアスを調整する

必要がある。例えば、 1×2 MMI カプラを入力側に、 2×2 MMI カプラを出力側に用いた場合には、変調電極に電圧を印加していない場合のアーム間での位相差は理想的には 0.5π となる。そのため、必要な位相調整量は、製造誤差等により発生する初期位相差分のみであると考えれば良い。

[0078] 以上説明したように、本実施形態によれば、アーム 12a, 12b 間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構成で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現する。

[0079] (第2の実施形態)

本実施形態では、第1の実施形態と同様に、半導体マッハ・ツェンダ変調器を用いた光変調装置を対象とするが、その変調態様が異なる点で相違する。

本実施形態による光変調装置では、半導体マッハ・ツェンダ変調器、光変調器モジュール、及び光変調装置の構成は第1の実施形態とほぼ同様である。そのため本実施形態でも、第1の実施形態の図面及び符号を適宜用いて説明する。

[0080] アーム 12a, 12b を通過する光の位相を変化させて変調動作を行うには、アーム 12a には変調電極 13a から第1のDCバイアス及び第1の変調信号を、アーム 12b には変調電極 13b から第2のDCバイアス及び第2の変調信号をそれぞれ印加する。

アーム 12a, 12b には、変調電極 13a の長さ L_1 と第1のDCバイアス V_{DC1} との積と、変調電極 13b の長さ L_2 と第2のDCバイアス V_{DC2} との積との比率が一定値に保たれるように、第1のDCバイアス及び第2のDCバイアスが印加される。

[0081] 本実施形態では、変調電極 13a に印加する第1のDCバイアス V_{DC1} と変調電極 13b に印加する第2のDCバイアス V_{DC2} とで、 $V_{DC1} : V_{DC2} = L_2 : L_1$ に固定する。この条件で、変調電極 13a, 13b に、同振幅で電圧の変化の方向が互いに逆になる第1の変調信号及び第2の変調信号を印加する

。これにより、変調動作時においてアーム 1 2 a, 1 2 b で互いに逆の方向にほぼ同じ量だけ位相変化が発生し、良好なゼロチャープ動作を実現することができる。

[0082] 詳細には、以下ようになる。変調電極 1 3 a が長さ $L_1 = 1.5 \text{ mm}$ に、変調電極 1 3 b が長さ $L_2 = 0.5 \text{ mm}$ にそれぞれ形成される。 $V_{DC1} : V_{DC2}$ を 1 : 3 に固定する。従って、アーム 1 2 a, 1 2 b における位相変化の効率の比率 $\eta_1 : \eta_2$ は、以下の値に固定される。

$$\eta_1 : \eta_2 = L_1 V_{DC1} : L_2 V_{DC2} = 1.5 \times 1 : 0.5 \times 3 = 1 : 1$$

即ち、アーム 1 2 a, 1 2 b における位相変化の効率が同値となる。

第 1 の実施形態と同様に、第 1 の DC バイアス V_{DC1} : 第 2 の DC バイアス V_{DC2} の関係を 1 : 3 に固定したまま、アーム 1 2 a, 1 2 b に第 1 及び第 2 の DC バイアスを増減させることで、アーム 1 2 a, 1 2 b 間の位相差を変化させて調整することができる。

第 1 の実施形態と同様に、第 1 及び第 2 の DC バイアスを大きくしてゆくと、位相差が大きくなるため、アーム 1 2 a, 1 2 b 間の位相差を最適に調整することができる。

[0083] 本実施形態では、第 1 の実施形態の図 8 のステップ S 2 において駆動条件テーブルを作成する際に、以下のような手順で位相差を調整する。

変調電極 1 3 a, 1 3 b に印加する第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} の関係を 1 : 3 に固定した状態で、第 1 の DC バイアスを 0 V から数 V まで変化させる。このとき、出力ポート（この場合は、出力ポート 1 4 a）から出力される光の強度を観測すると、例えば図 1 2 のような消光カーブが得られる。第 1 の実施形態と同様に、図 1 2 のセンターバイアス $V_{c,b}$ に、アーム 1 2 a に印加する第 1 の DC バイアスを合わせることで、上述した位相調整がなされることになる。本実施形態では、変調電極 1 3 a, 1 3 b に印加する第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} の関係が 1 : 3 で固定されているため、アーム 1 2 b に印加する第 2 の DC バイアスは $V_{c,b} \times 3$ の値とすれば良い。

- [0084] なお、この消光カーブは、変調器素子 20 が理想的に作製されたとすれば、アーム 12a, 12b 間の初期位相差が 0 である場合に、図 12 の実線のように、消光カーブが 0 のところで極大値となる。変調器素子 20 に作製誤差があり、それによって発生する初期位相差がある場合には、図 12 の破線のように、消光カーブが横軸方向にずれ、消光カーブが 0 以外のところでピークを持つようになる。
- [0085] 従って、実線のように変調器素子 20 が理想的に作製された場合には、アーム 12a に印加する第 1 の DC バイアスを図 12 のセンターバイアス $V_{c,b}$ の値とすれば良い。破線のようにアーム 12a, 12b 間に初期位相差が存在する場合には、アーム 12a に印加する第 1 の DC バイアス V_{DC1} を図 12 のセンターバイアス $V_{c,b}'$ の値とすれば良い。このように、変調器素子 20 の製造ばらつきに依存して発生する初期位相差により、極大と極小の midpoint となるセンターバイアスが変わるため、位相が適切に調整されている DC バイアスも変調器素子 20 ごとに異なる。
- [0086] 上記のように決定した第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} (本実施形態では $V_{DC2} = 3 V_{DC1}$) を、第 1 及び第 2 の変調信号の振幅 V_{pp} 及び駆動温度 T と共に駆動条件テーブルに記載する。
- 本実施形態による光変調装置の駆動方法としては、第 1 の実施形態の図 1 と同様である。即ち、ステップ S11 ~ S14 により、駆動条件テーブルから、駆動温度 T を読み込んで温度調節し、 V_{DC1} , V_{DC2} を読み込んで変調電極 13a, 13b に印加し、振幅 V_{pp} を読み込んで互いに電圧の変化が逆となる高周波信号を印加する。
- [0087] 以上説明したように、本実施形態によれば、アーム 12a, 12b 間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構成で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現する。
- [0088] (第 3 の実施形態)
- 本実施形態では、第 1 の実施形態と同様に、半導体マッハ・ツェンダ変調

器を用いた光変調装置を対象とするが、その変調態様が異なる点で相違する。

本実施形態による光変調装置では、半導体マッハ・ツェンダ変調器、光変調器モジュール、及び光変調装置の構成は第1の実施形態とほぼ同様である。そのため本実施形態でも、第1の実施形態の図面及び符号を適宜用いて説明する。

[0089] アーム12a, 12bを通過する光の位相を変化させて変調動作を行うには、アーム12aには変調電極13aから第1のDCバイアス及び第1の変調信号を、アーム12bには変調電極13bから第2のDCバイアス及び第2の変調信号をそれぞれ印加する。

アーム12a, 12bには、変調電極13aの長さ L_1 と第1のDCバイアスとの積と、変調電極13bの長さ L_2 と第2のDCバイアスとの積との比率が一定値に保たれるように、第1のDCバイアス及び第2のDCバイアスが印加される。本実施形態では、所望の負チャーププログラム動作を実現すべく、第1の及び第2の変調信号における上記の比率を例えば5 : 1に保持する。

[0090] 本実施形態では、変調電極13aの長さ L_1 と変調電極13bの長さ L_2 との比率が2 : 1となるように、変調電極13a, 13bを形成する。具体的には、変調電極13aが長さ $L_1 = 1.5 \text{ mm}$ に、変調電極13bが長さ $L_2 = 0.75 \text{ mm}$ にそれぞれ形成される。変調電極13aに印加する第1のDCバイアス V_{DC1} と変調電極13bに印加する第2のDCバイアス V_{DC2} とで、 $V_{DC1} : V_{DC2} = 2.5 : 1$ に固定する。この条件で、変調電極13a, 13bに、同振幅で電圧の変化の方向が互いに逆になる第1の変調信号及び第2の変調信号を印加する。

[0091] アーム12a, 12bにおける位相変化の効率の比率 $\eta_1 : \eta_2$ は、以下の値に固定される。

$$\eta_1 : \eta_2 = L_1 V_{DC1} : L_2 V_{DC2} = 1.5 \times 2.5 : 0.75 \times 1 = 5 : 1$$

これにより、アーム12a, 12bで互いに逆の方向に5 : 1の位相変化が発生し、良好な負チャープ動作を実現することができる。

[0092] 図13に示すように、第1のDCバイアス V_{DC1} ：第2のDCバイアス V_{DC2} の関係を2.5：1に固定したまま、アーム12a、12bに第1及び第2のDCバイアスを増減させることで、アーム12a、12b間の位相差を変化させて調整することができる。図13では、第1及び第2のDCバイアスが V_{DC1} 、 V_{DC2} のときにアーム12a、12b間の位相差が $\Delta\phi$ となり、 V_{DC1}' 、 V_{DC2}' のときに位相差が $\Delta\phi'$ となる。

第1の実施形態と同様に、第1及び第2のDCバイアスを大きくしてゆくと、位相差が大きくなるため、アーム12a、12b間の位相差を最適に調整することができる。

[0093] 本実施形態では、第1の実施形態の図8のステップS2において駆動条件テーブルを作成する際に、以下のような手順で位相差を調整する。

変調電極13a、13bに印加する第1及び第2のDCバイアス V_{DC1} 、 V_{DC2} の関係を2.5：1に固定した状態で、第2のDCバイアスを0Vから数Vまで変化させる。このとき、出力ポート（この場合は、出力ポート14a）から出力される光の強度を観測すると、例えば図14のような消光カーブが得られる。第1の実施形態と同様に、図14のセンターバイアス V_{cb} に、アーム12bに印加する第2のDCバイアスを合わせることで、上述した位相調整がなされることになる。本実施形態では、変調電極13a、13bに印加する第1及び第2のDCバイアス V_{DC1} 、 V_{DC2} の関係が2.5：1で固定されているため、アーム12aに印加する第1のDCバイアスは $V_{cb} \times 2.5$ の値とすれば良い。

[0094] なお、この消光カーブは、変調器素子20が理想的に作製されたとすれば、アーム12a、12b間の初期位相差が0である場合に、図14の実線のように、消光カーブが0のところで極大値となる。変調器素子20に作製誤差があり、それによって発生する初期位相差がある場合には、図14の破線のように、消光カーブが横軸方向にずれ、消光カーブが0以外のところでピークを持つようになる。

[0095] 従って、実線のように変調器素子20が理想的に作製された場合には、ア

ーム 1 2 b に印加する第 2 の DC バイアスを図 1 2 のセンターバイアス $V_{c,b}$ の値とすれば良い。破線のようにアーム 1 2 a, 1 2 b 間に初期位相差が存在する場合には、アーム 1 2 b に印加する第 2 の DC バイアス V_{DC1} を図 1 4 のセンターバイアス $V_{c,b}'$ の値とすれば良い。このように、変調器素子 2 0 の製造ばらつきに依存して発生する初期位相差により、極大と極小の midpoint となるセンターバイアスが変わるため、位相が適切に調整されている DC バイアスも変調器素子 2 0 ごとに異なる。

[0096] 上記のように決定した第 1 及び第 2 の DC バイアス V_{DC1} , V_{DC2} (本実施形態では $V_{DC1} = 2 \cdot 5 V_{DC2}$) を、第 1 及び第 2 の変調信号の振幅 V_{pp} 及び駆動温度 T と共に駆動条件テーブルに記載する。

本実施形態による MZ 型光変調装置の駆動方法としては、第 1 の実施形態の図 1 1 と同様である。即ち、ステップ S 1 1 ~ S 1 4 により、駆動条件テーブルから、駆動温度 T を読み込んで温度調節し、 V_{DC1} , V_{DC2} を読み込んで変調電極 1 3 a, 1 3 b に印加し、振幅 V_{pp} を読み込んで互いに電圧の変化が逆となる高周波信号を印加する。

[0097] 以上説明したように、本実施形態によれば、アーム 1 2 a, 1 2 b 間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構成で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現する。

[0098] (第 4 の実施形態)

図 1 5 は、第 4 の実施形態による光変調装置に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器を示す概略平面図である。

図 1 6 は、図 1 5 の半導体マッハ・ツェンダ変調器を搭載した変調器モジュールを示す概略平面図である。

図 1 7 は、図 1 6 の変調器モジュールを搭載した光変調装置を示す概略平面図である。

[0099] 本実施形態による光変調装置 (光送信器) に用いる半導体マッハ・ツェンダ変調器 5 0 は、図 1 5 に示すように、第 1 の光カプラ 1 1、アーム 1 2 a

、 12b、第2の光カプラ14を構成する半導体光導波路、及び変調電極13a、13bを備えて構成される。本実施形態では、第1の光カプラ11、アーム12a、12b、及び第2の光カプラ14については、第1の実施形態の変調器素子20のものと同様である。アーム12a、12bの断面構成についても、第1の実施形態の図4Bと同様である。

[0100] 本実施形態では、変調電極13a、13bが同一の長さに形成される。更に、アーム12b上のみに付加電極51が形成される。付加電極51は、変調電極13a、13bと同時にパターニングされて形成される。

アーム12a、12bには、変調電極13a、13bからの第1の変調信号及び第2の変調信号が印加される。このとき、変調電極13aの長さ L_1 と第1のDCバイアス V_{DC1} との積と、変調電極13bの長さ L_2 に付加電極51の長さ L_3 を加えた長さ $(L_2 + L_3)$ と第2のDCバイアス V_{DC2} との積との比率が一定に保たれるようにする。ここで、「付加電極の長さ」とは、「変調電極の長さ」と同様に、当該付加電極のアームを構成する導波路と電氣的に接続された部分の、当該アームの長手方向に沿った長さを言う。

[0101] 図15に示すように、上記のように構成された半導体マッハ・ツェンダ変調器50を用いて光変調器モジュール60が構成される。

光変調器モジュール60は、半導体マッハ・ツェンダ変調器50以外では第1の実施形態の図5の光変調器モジュール30とほぼ同様に構成されるが、キャリア31に電極31e及びインダクタ52が付されている点で相違する。

[0102] 電極31eは、付加電極51の一端とワイヤボンディングされる。インダクタ52は、例えば100 μ H程度のものであり、電極31dと電極31eとを電氣的に接続するように設けられる。モジュールパッケージ33には、付加電極51に対して独立に電圧を印加するための電極ピンは設けられていない。そのため本実施形態では、付加電極51を形成することにより電極ピン数の増加をもたらすことはない。

[0103] 図17に示すように、上記のように構成された光変調器モジュール60を

用いて光変調装置 70 が構成される。

光変調装置 70 は、光変調器モジュール 60 以外では第 1 の実施形態の図 6 の光変調装置 40 とほぼ同様に構成される。

[0104] 光変調装置 70 において、DC 電源 41a, 41b 及び高周波信号源 42 により、変調電極 13a には第 1 の DC バイアス及び第 1 の変調信号を、変調電極 13b には第 2 の DC バイアス及び第 2 の変調信号をそれぞれ印加する。このとき、変調電極 13b 及び付加電極 51 が設けられているアーム 12b では、第 2 の DC バイアスは、変調電極 13b と及び付加電極 51 の双方に印加される。一方、高周波信号である第 2 の変調信号は、インダクタ 52 により付加電極 51 には殆ど印加されない。

[0105] このことは、実効的に変調信号について見た場合、アーム 12a, 12b で同じ電極長の変調電極に各変調信号を印加しているのと等価になる。一方、実効的に DC バイアスについて見た場合、アーム 12a, 12b で異なる電極長の電極に各 DC バイアスを印加しているのと等価になる。

[0106] 本実施形態では、変調電極 13a, 13b に印加する第 1 及び第 2 の DC バイアスをアーム 12a, 12b で一致させ、且つ、変調電極 13a, 13b に印加する第 1 及び第 2 の変調信号を、振幅が互いに等しく電圧変化の方向が逆となるようにする。この場合、実効的に各変調信号が印加される変調電極 13a, 13b の長さが等しいため、第 1 及び第 2 の変調信号に対する位相変化の効率は、アーム 12a, 12b で等しくなる。その結果、アーム 12a, 12b で位相変化量が等しくなるゼロチャープ動作が実現される。

また、アーム 12a, 12b 間の位相差を決定する第 1 及び第 2 の DC バイアスの印加によるアーム間の位相差に関しては、実効的に異なる長さの電極に第 1 及び第 2 のバイアスを印加することになる。そのため、第 1 の実施形態と同様に、第 1 及び第 2 の DC バイアスを、同値に一致させたまま増減させることにより、アーム 12a, 12b 間の位相差を調整することができる。

[0107] 本実施形態では、ゼロチャープ動作を保ちつつ、アーム 12a, 12b 間

の位相差を最適に調整することができる。更に、印加する第1及び第2の変調信号の振幅がアーム12a, 12bで同じであり、且つ印加する第1及び第2のDCバイアスの大きさがアーム12a, 12bで同じであるため、単純な制御を行うことができる。

[0108] 本実施形態では、第1の実施形態と同様に、駆動条件テーブル45に基づいた制御回路44の制御により、第1のDCバイアス V_{DC1} と第2のDCバイアス V_{DC2} とが同値とされる。そこで、図18に示すように、DC電源41bを省略し、DC電源41aのみを設けるようにしても良い。この場合、電極ピン36a, 36b間及び電極ピン37a, 37b間にDC電源41aが接続される。DC電源41aは、制御回路44の制御により、駆動条件テーブル45に記載されたDCバイアス V_{DC} を電極ピン36a, 36b間及び電極ピン37a, 37b間に印加する。このとき、変調電極13aと変調電極13a及び付加電極51とには、共に同値のDCバイアス V_{DC} が印加される。

[0109] 以上説明したように、本実施形態によれば、アーム12a, 12b間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構成で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現する。

[0110] なお、第1～第4の実施形態では、第1のDCバイアス V_{DC1} と第2のDCバイアス V_{DC2} との比率を一定値とするに際して、単一の一定値となる V_{DC1} , V_{DC2} を駆動条件テーブルに記載し、これに基づいて光変調装置に駆動を行う態様を示した。

これについて、他の態様を考えることができる。例えば駆動条件テーブルに、第1の実施形態による1:1となる V_{DC1} , V_{DC2} と、第2の実施形態による1:3となる V_{DC1} , V_{DC2} と、第3の実施形態による2.5:1となる V_{DC1} , V_{DC2} とを記載する。そして、MZ型光変調装置の使用状況に応じて、駆動条件テーブルから適切な V_{DC1} , V_{DC2} を読み込み、所望の0チャープ動作又は負チャープ動作を得るようにしても良い。

産業上の利用可能性

[0111] 本件によれば、第 1 及び第 2 の光導波路間の位相差の最適な制御と、精密な波長チャープ特性の制御とを、簡素な素子構成で実現することが可能となり、装置サイズが小型で且つ良好な特性を持つ光変調が実現する。

請求の範囲

- [請求項1] 入力した光を分岐して伝搬し、伝搬した光を合波して出力する半導体マッハ・ツェンダ型変調器を用いた光変調装置であって、
- 前記半導体マッハ・ツェンダ変調器は、
- 分岐した光を伝搬する第1の光導波路及び第2の光導波路と、
- 前記第1の光導波路に第1の変調信号及び第1のDCバイアスを印加する第1の電極と、
- 前記第2の光導波路に第2の変調信号及び第2のDCバイアスを印加する第2の電極と
- を含み、
- 前記第1の電極の長さ L_1 と前記第1のDCバイアス V_1 との積 $L_1 V_1$ と、前記第2の電極の長さ L_2 と前記第2のDCバイアス V_2 との積 $L_2 V_2$ との比率を一定値に保つように、前記第1のDCバイアス V_1 及び前記第2のDCバイアス V_2 が印加されることを特徴とする光変調装置。
- [請求項2] 前記第1の電極の長さ L_1 と前記第2の電極の長さ L_2 とが異なり、且つ、前記第1の電極の長さ L_1 と前記第1のDCバイアス V_1 との積 $L_1 V_1$ と、前記第2の電極の長さ L_2 と前記第2のDCバイアス V_2 との積 $L_2 V_2$ との比率が1 : 1であることを特徴とする請求項1に記載の光変調装置。
- [請求項3] 前記第1の電極の長さ L_1 と前記第1のDCバイアス V_1 との積 $L_1 V_1$ と、前記第2の電極の長さ L_2 と前記第2のDCバイアス V_2 との積 $L_2 V_2$ との比率が1 : 4 ~ 1 : 5であることを特徴とする請求項1に記載の光変調装置。
- [請求項4] 前記半導体マッハ・ツェンダ変調器は、更に、前記第2の光導波路に電圧を印加するための、前記第2の電極とは別に形成された第3の電極を含んでおり、
- 前記第1の電極及び前記第2の電極は、その長さが同一に形成されており、
- 前記第2の電極と前記第3の電極がインダクタを介して接続されており、

前記第 1 の電極の長さと同前記第 1 の DC バイアスとの積と、前記第 2 の電極の長さと同前記第 2 の DC バイアスとの積との比率が 1 : 1 であることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

[請求項 5] 前記第 1 の変調信号及び前記第 2 の変調信号は、同振幅で電圧変化の方向が互いに逆の交流信号であることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

[請求項 6] 前記比率を一定値に保つように、予め規定された前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを記載するテーブルを記録したメモリを有し、

前記第 1 の電極に接続された第 1 の電源と、
前記第 2 の電極に接続された第 2 の電源と
を更に含み、

前記第 1 の電源及び前記第 2 の電源は、前記テーブルに記載された前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを、前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極に印加することを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

[請求項 7] 前記テーブルに記載された前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極に印加するように、前記第 1 の電源及び前記第 2 の電源を制御する制御部を更に含むことを特徴とする請求項 6 に記載の光変調装置。

[請求項 8] 入力した光を分岐して伝搬し、伝搬した光を合波して出力する半導体マッハ・ツェンダ型変調器を用いた光変調装置の駆動方法であって、

分岐した光を伝搬する第 1 の光導波路及び第 2 の光導波路と、

前記第 1 の光導波路に第 1 の変調信号及び第 1 の DC バイアスを印加する第 1 の電極と、

前記第 2 の光導波路に第 2 の変調信号及び第 2 の DC バイアスを印加する第 2 の電極と

を含む光変調装置について、

前記第 1 の電極の長さと同前記第 1 の DC バイアスとの積と、前記第 2 の電極の長さと同前記第 2 の DC バイアスとの積との比率を一定値に保つように、前記第 1 の光導波路及び前記第 2 の光導波路に前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを印加することを特徴とする光変調装置の駆動方法。

[請求項 9] 前記第 1 の電極の長さと同前記第 1 の DC バイアスとの積と、前記第 2 の電極の長さと同前記第 2 の DC バイアスとの積との比率が 1 : 1 であることを特徴とする請求項 8 に記載の光変調装置の駆動方法。

[請求項 10] 前記第 1 の電極の長さと同前記第 1 の DC バイアスとの積と、前記第 2 の電極の長さと同前記第 2 の DC バイアスとの積との比率が 1 : 4 ~ 1 : 5 であることを特徴とする請求項 8 に記載の光変調装置の駆動方法。

[請求項 11] 前記半導体マッハ・ツェンダ変調器は、更に、前記第 2 の電極と別に形成された第 3 の電極を含んでおり、

前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極の長さが同一に形成されており、

前記第 2 の電極と前記第 3 の電極とがインダクタを介して接続され、

前記第 1 の電極の長さと同前記第 1 の DC バイアスとの積と、前記第 2 の電極の長さと同前記第 2 の DC バイアスとの積との比率が 1 : 1 であることを特徴とする請求項 8 に記載の光変調装置の駆動方法。

[請求項 12] 同振幅で電圧変化の方向が互いに逆の交流信号である前記第 1 の変調信号及び前記第 2 の変調信号を、前記第 1 の光導波路及び前記第 2 の光導波路に印加することを特徴とする請求項 8 に記載の光変調装置の駆動方法。

[請求項 13] 前記比率を一定値に保つように、予め規定された前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを記載するテーブルを用い、

前記光変調装置は、

前記第 1 の電極に接続された第 1 の電源と、

前記第 2 の電極に接続された第 2 の電源と

を更に含み、

前記第 1 の電源及び前記第 2 の電源により、前記テーブルに記載された前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを、前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極に印加することを特徴とすることを特徴とする請求項 8 に記載の光変調装置の駆動方法。

[請求項 14] 前記光変調装置は、前記第 1 の電源及び前記第 2 の電源を制御する制御部を更に含み、

前記制御部により、前記テーブルに記載された前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極に印加するように、前記第 1 の電源及び前記第 2 の電源を制御することを特徴とする請求項 13 に記載の光変調装置の駆動方法。

[請求項 15] 入力した光を分岐して伝搬し、伝搬した光を合波して出力する半導体マッハ・ツェンダ型変調器を用いた光変調装置の製造方法であって、

前記半導体マッハ・ツェンダ変調器を作製する際に、

分岐した光を伝搬する第 1 の光導波路及び第 2 の光導波路を形成する工程と、

前記第 1 の光導波路上に、前記第 1 の光導波路に第 1 の変調信号及び第 1 の DC バイアスを印加するための第 1 の電極と、前記第 2 の光導波路上に、前記第 2 の光導波路に第 2 の変調信号及び第 2 の DC バイアスを印加するための第 2 の電極とを形成する工程と

を含み、更に、

前記第 1 の電極の長さ $\times$ 前記第 1 の DC バイアスとの積と、前記第 2 の電極の長さ $\times$ 前記第 2 の DC バイアスとの積との比率を一定値に保つ、前記第 1 の DC バイアス及び前記第 2 の DC バイアスを決定す

る工程を含むことを特徴とする光変調装置の製造方法。

[請求項16] 前記半導体マッハ・ツェンダ型変調器は、更に、前記第2の光導波路に電圧を印加するための電極で、前記第2の電極とは別に形成され、前記第2の電極とインダクタを介して接続された第3の電極を更に含むことを特徴とする請求項15に記載の光変調装置の製造方法。

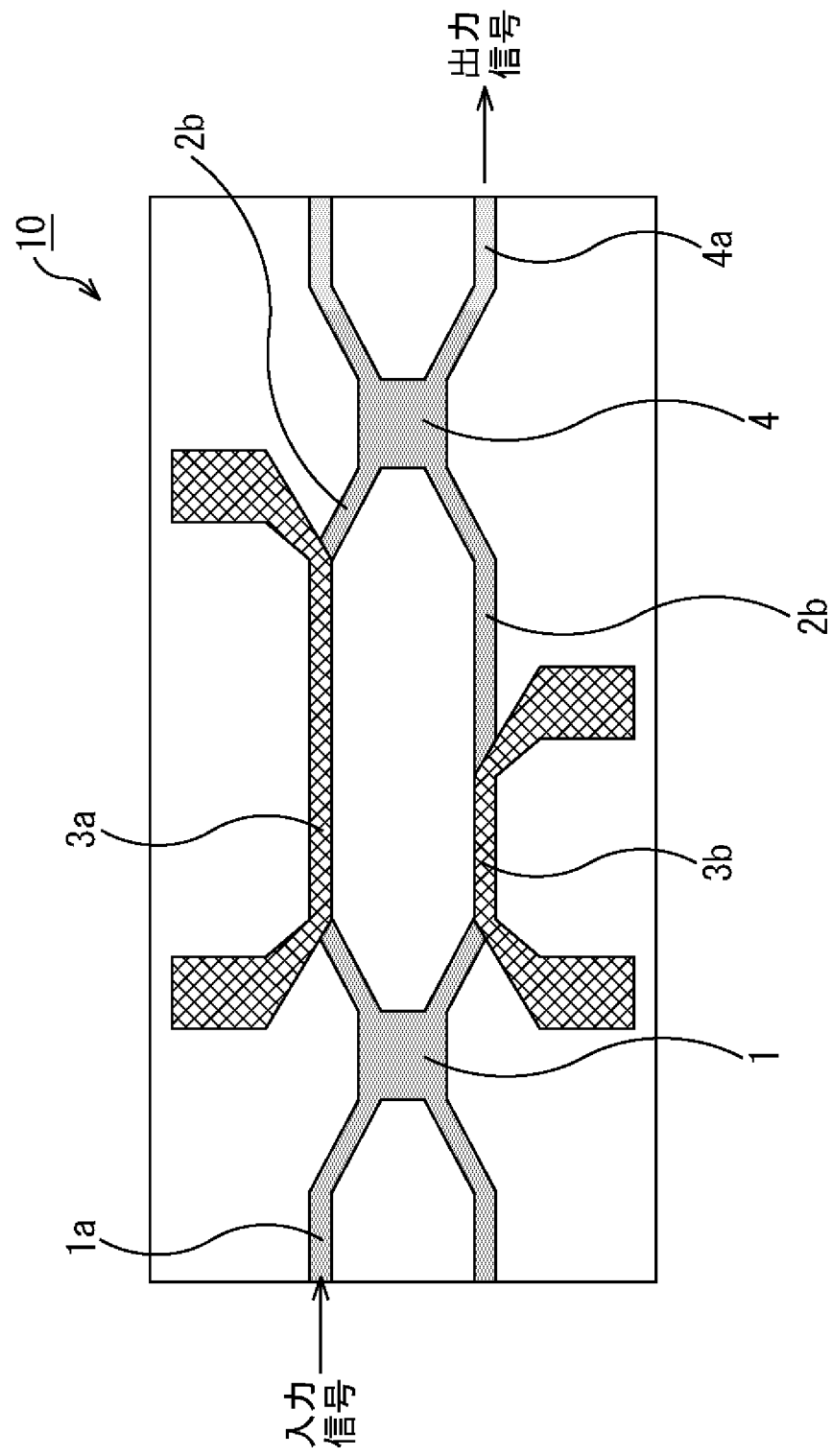
[請求項17] 決定された前記第1のDCバイアス及び前記第2のDCバイアスを記載するテーブルを作成する工程を更に含むことを特徴とする請求項15に記載の光変調装置の製造方法。

[請求項18] 前記テーブルには、決定された前記第1のDCバイアス及び前記第2のDCバイアスに加えて、決定された前記第1のDCバイアス及び前記第2のDCバイアスを前記第1の光導波路及び前記第2の光導波路に印加する際の駆動温度が記載されることを特徴とする請求項17に記載の光変調装置の製造方法。

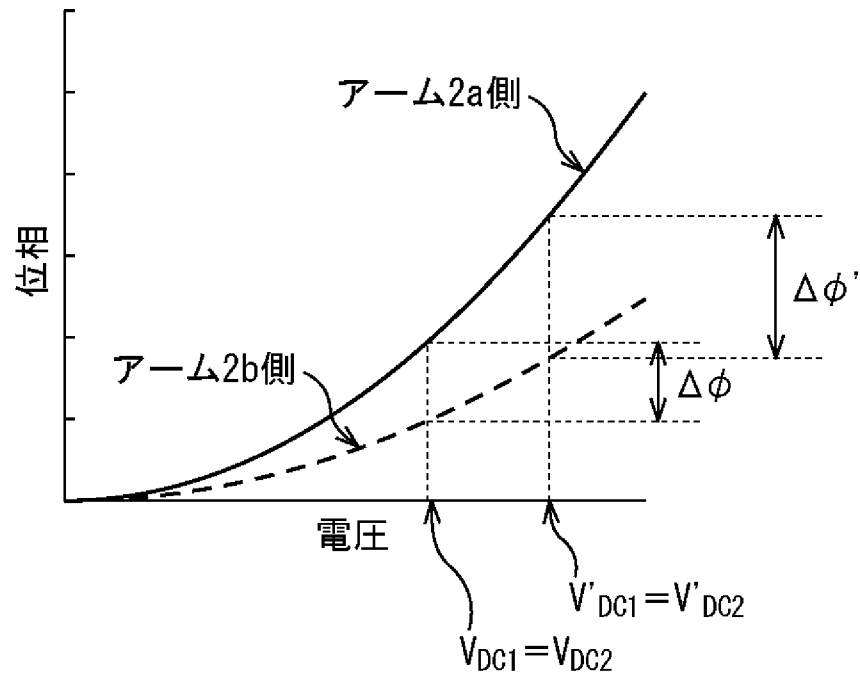
[請求項19] 前記第1のDCバイアス及び前記第2のDCバイアスを決定する工程において、

前記比率を一定値に保持した状態で前記第1の光導波路及び前記第2の光導波路に印加する前記第1のDCバイアス及び前記第2のDCバイアスを変化させた場合に、出力される光の消光カーブを用いて、前記消光カーブの極大値及び極小値の中央値を、前記第1のDCバイアス又は前記第2のDCバイアスに決定することを特徴とする請求項15に記載の光変調装置の製造方法。

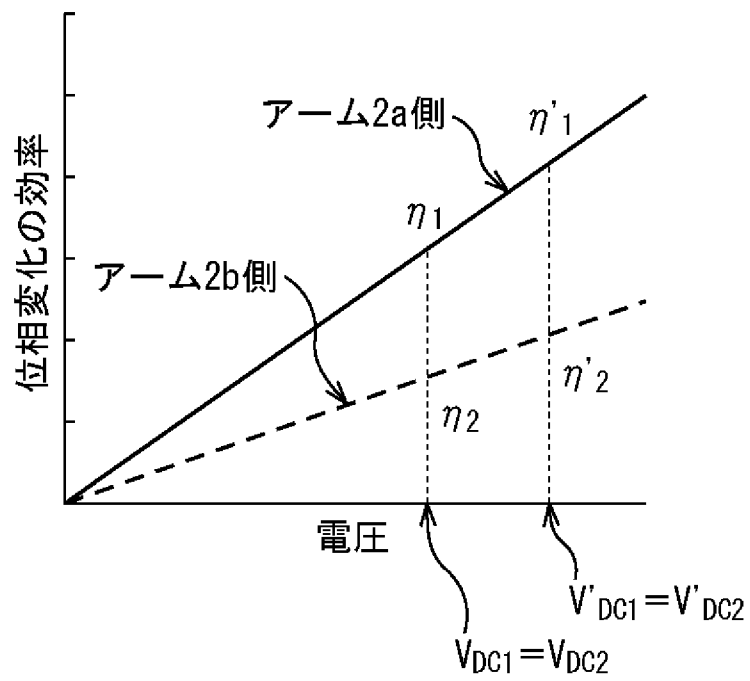
[図1]



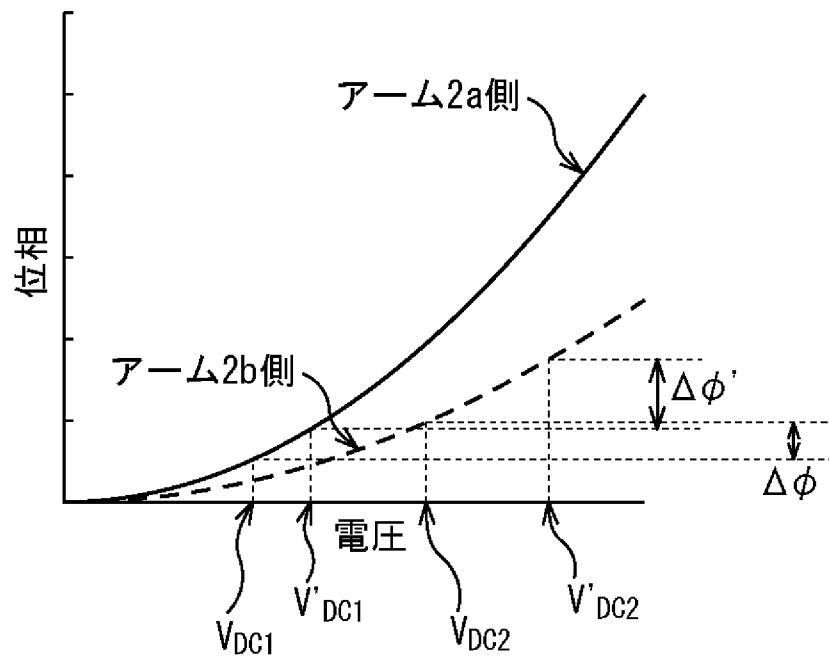
[図2A]



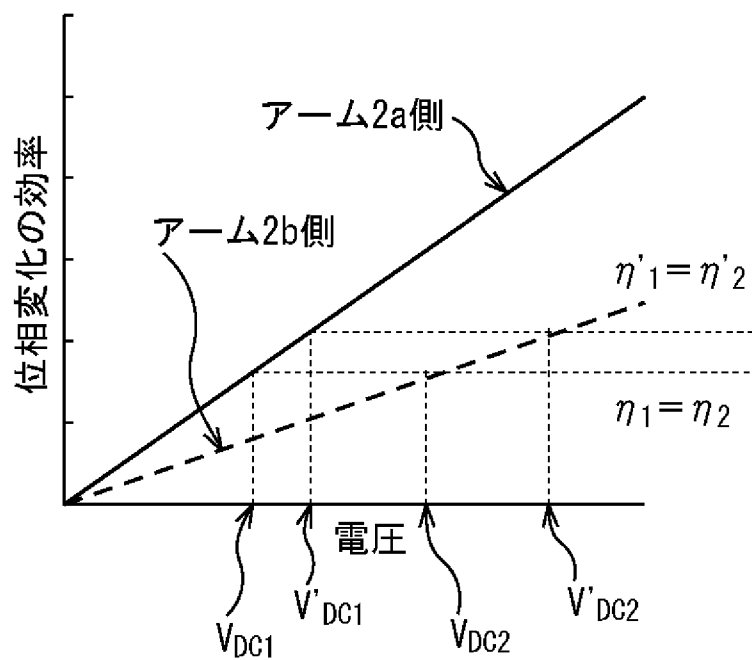
[図2B]



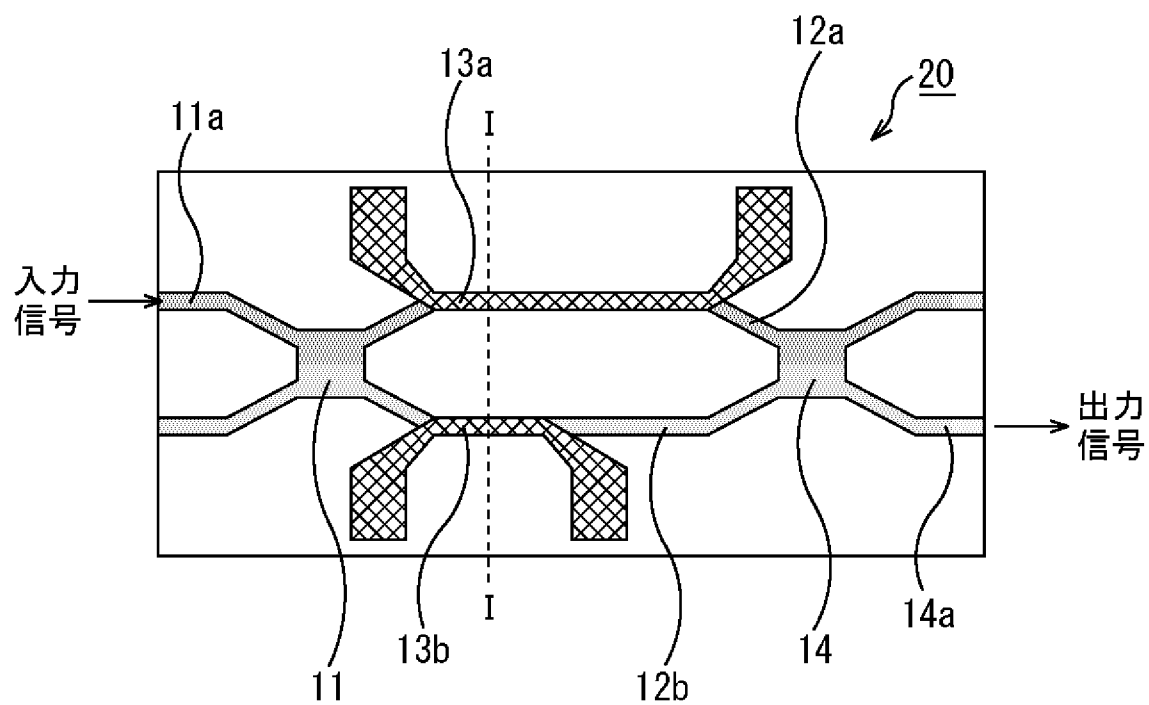
[図3A]



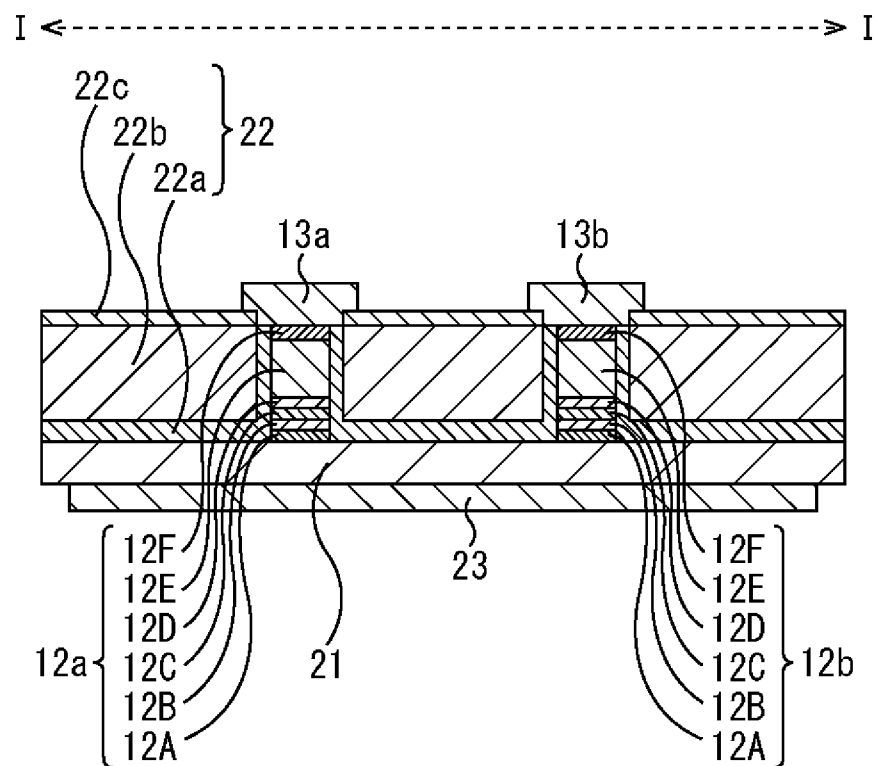
[図3B]



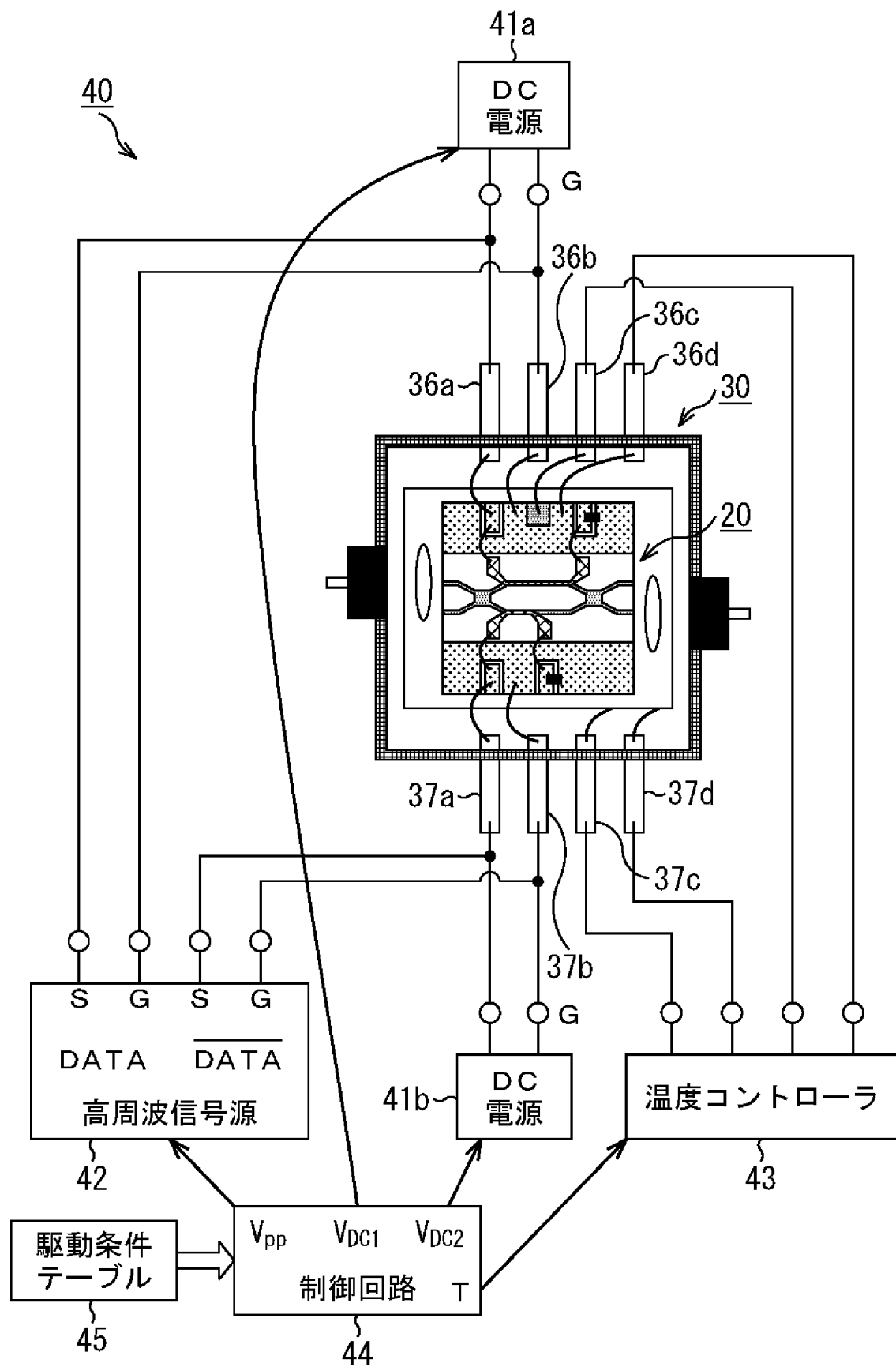
[図4A]



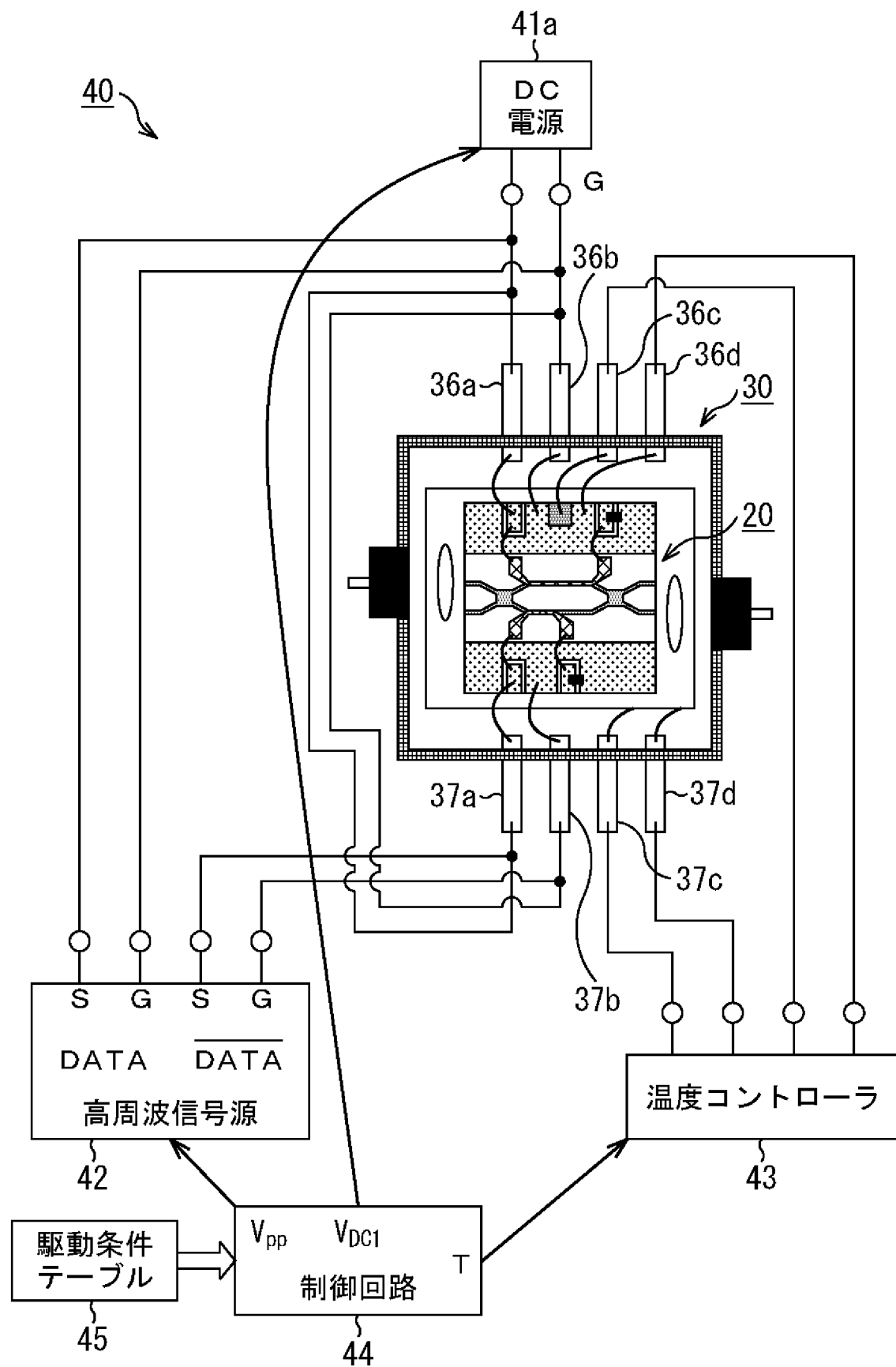
[図4B]



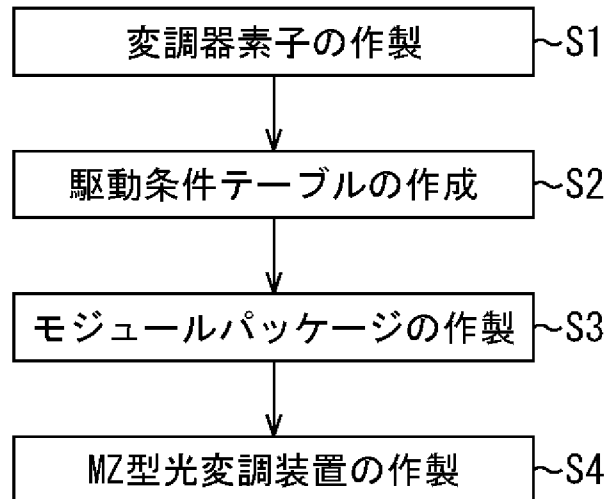
[図6]



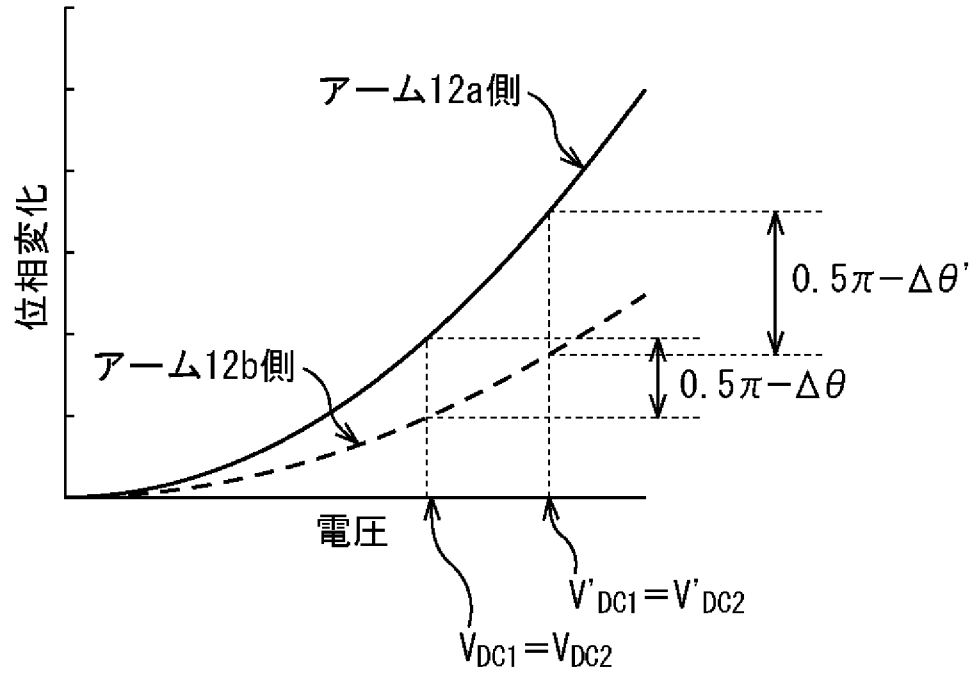
[図7]



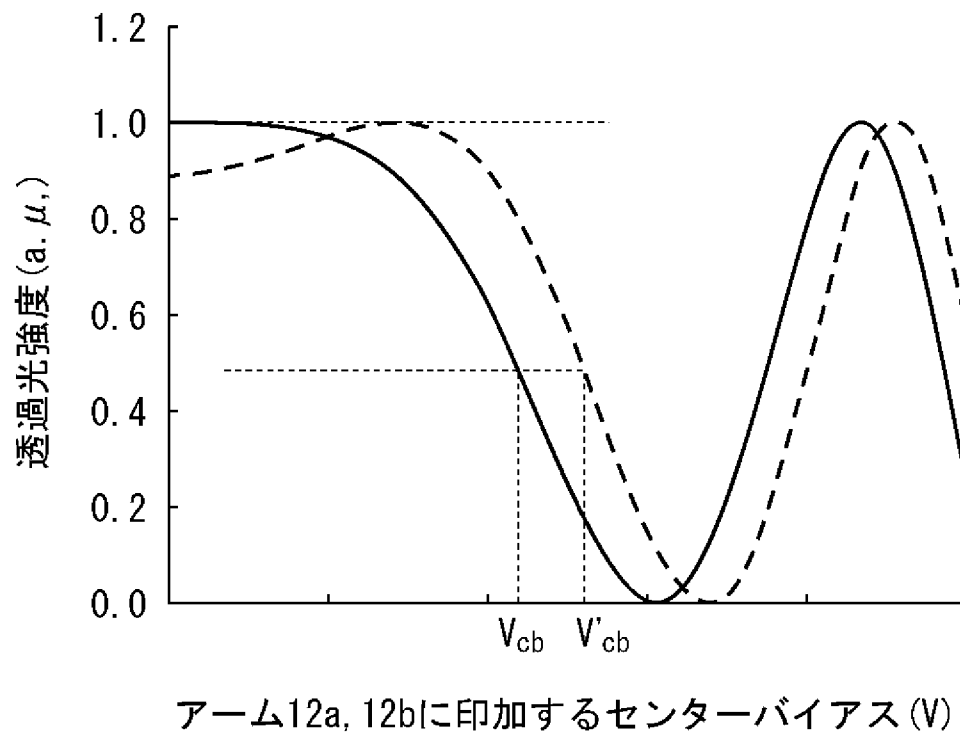
[図8]



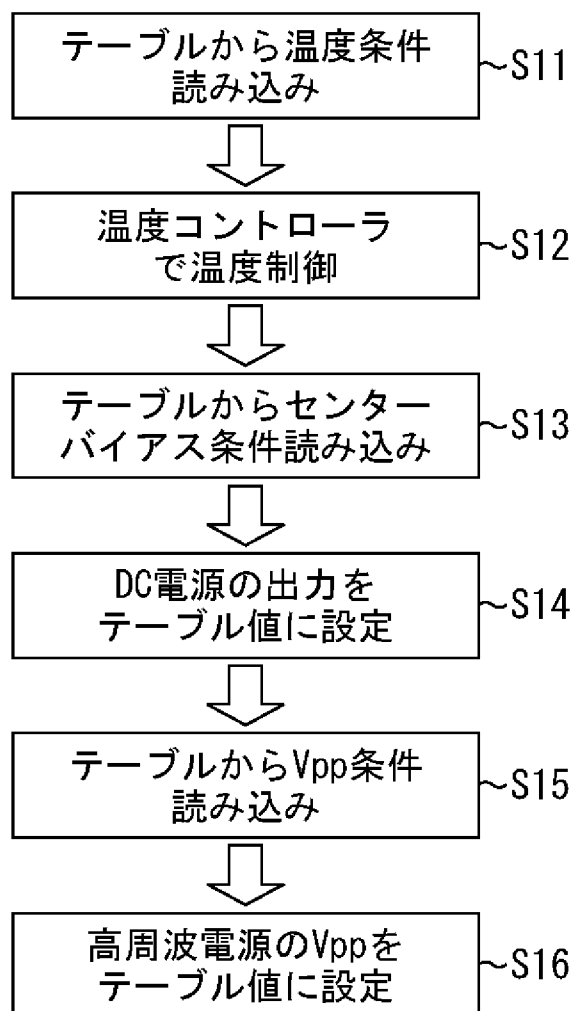
[図9]



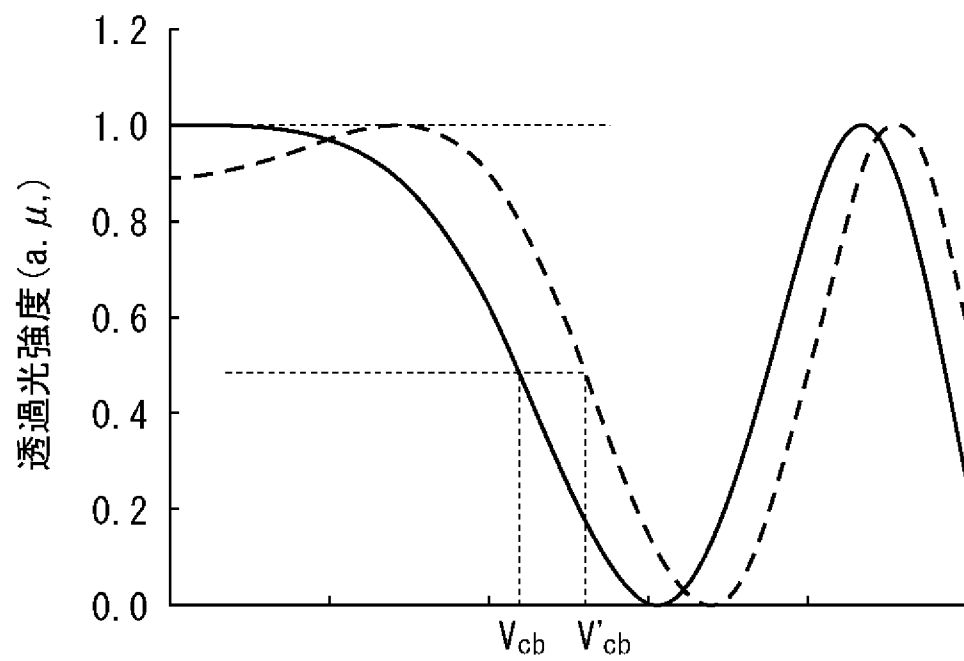
[図10]



[図11]

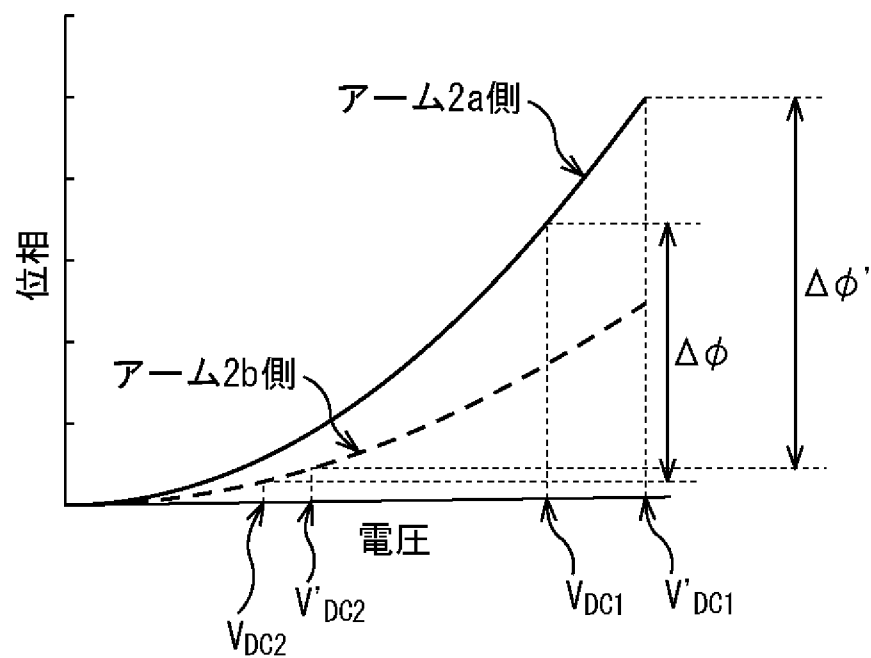


[図12]

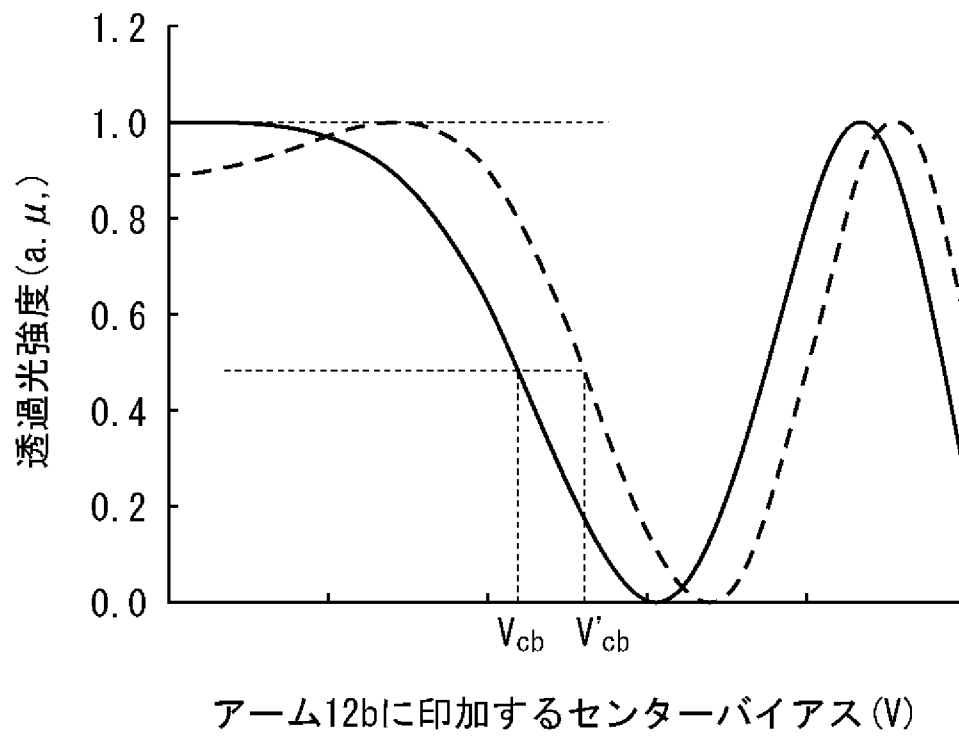


アーム12aに印加するセンターバイアス (V)

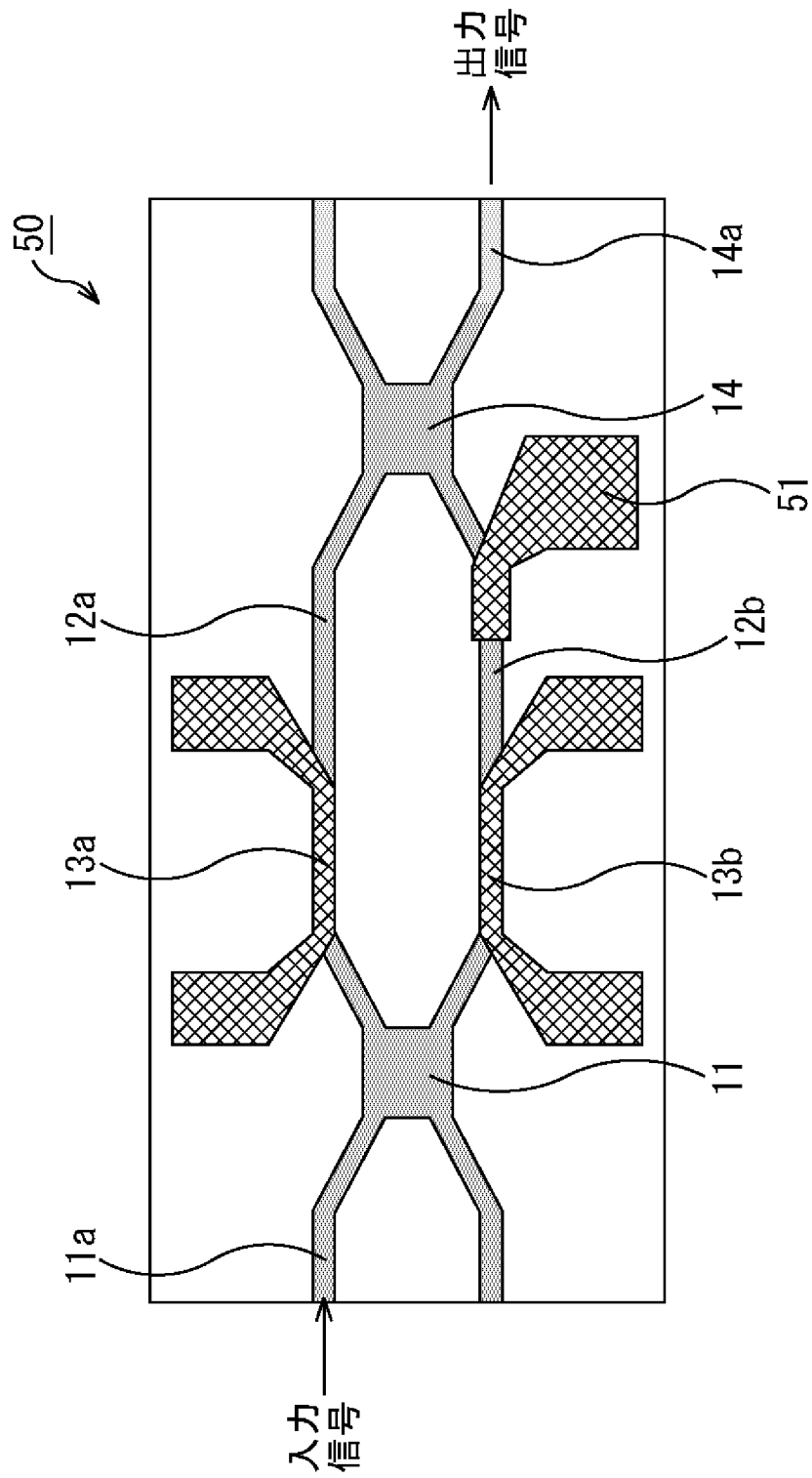
[図13]



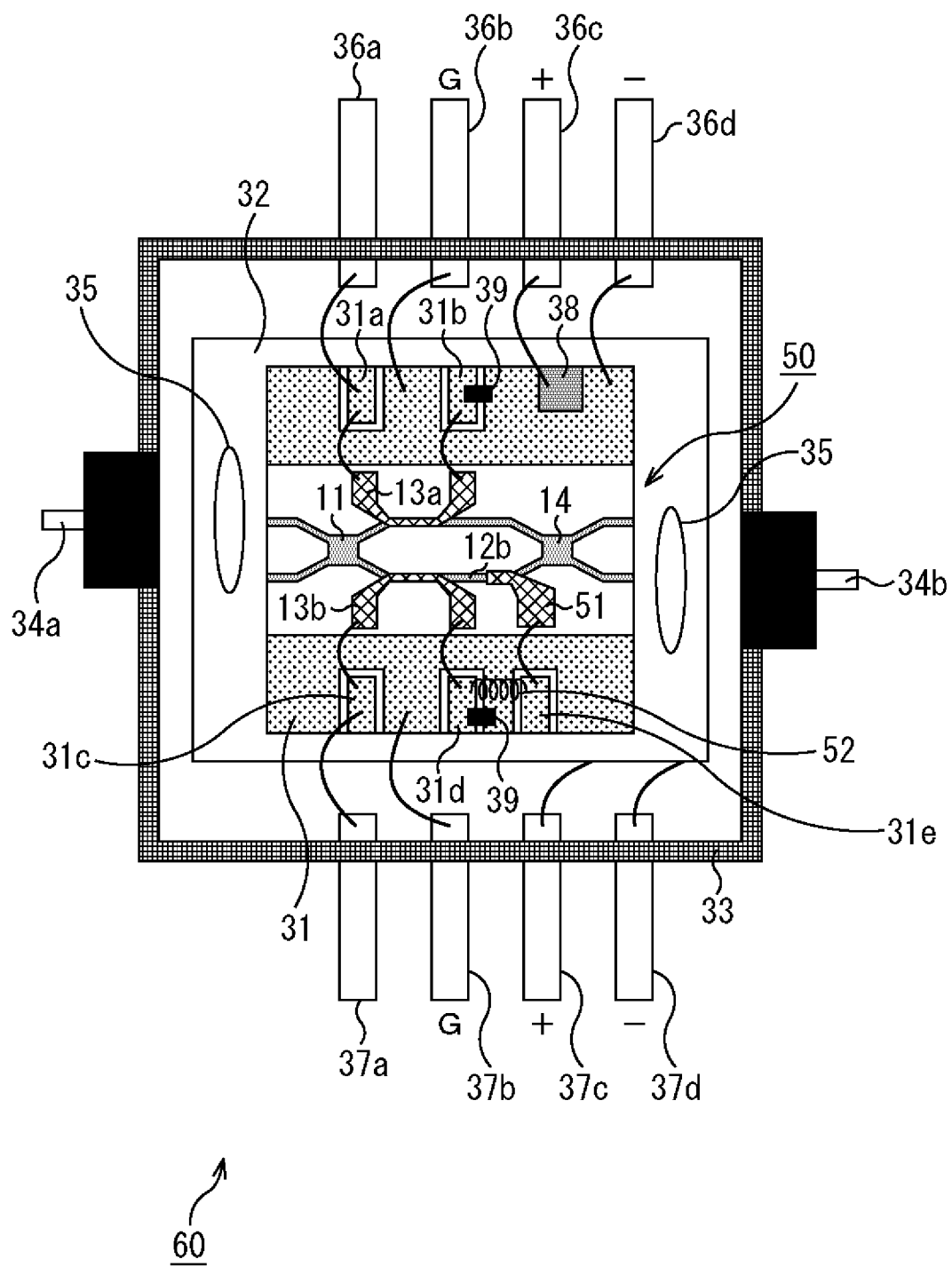
[図14]



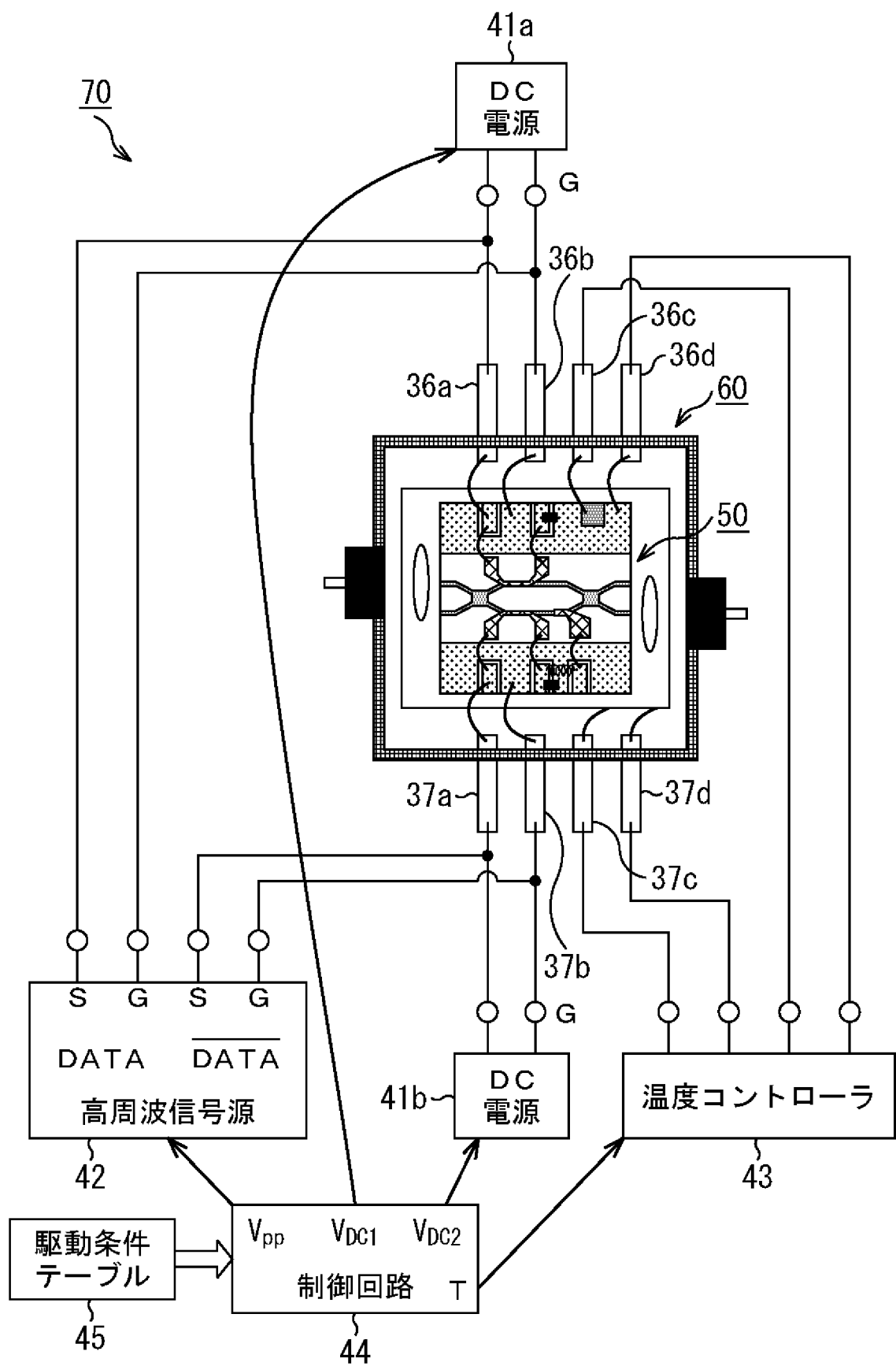
[図15]



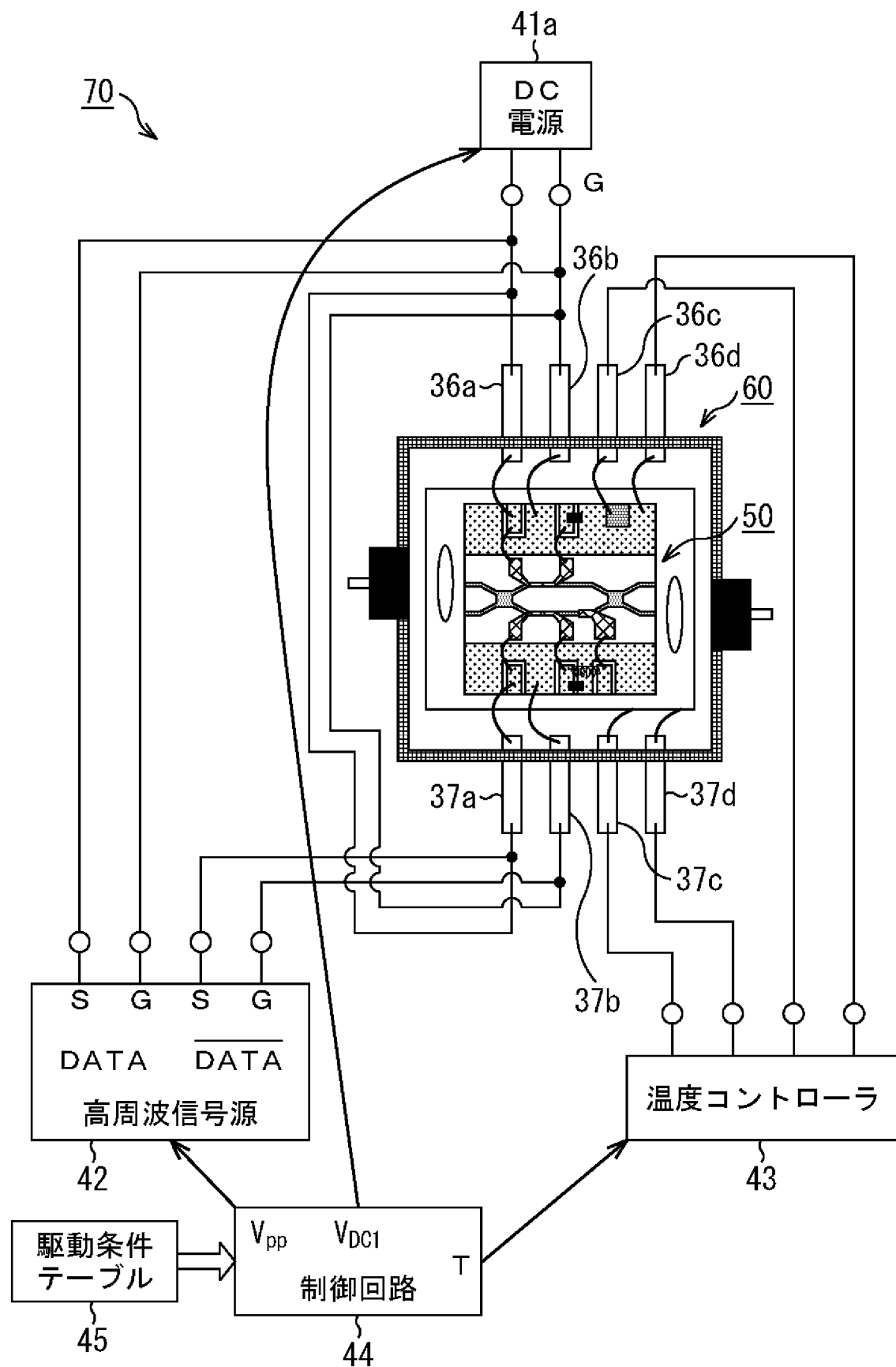
[図16]



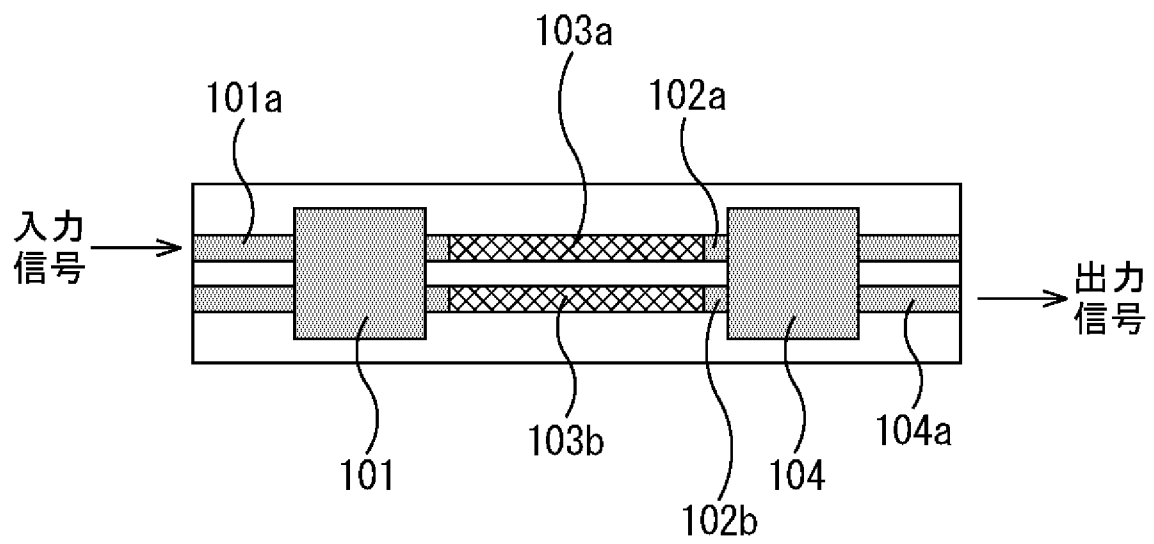
[図17]



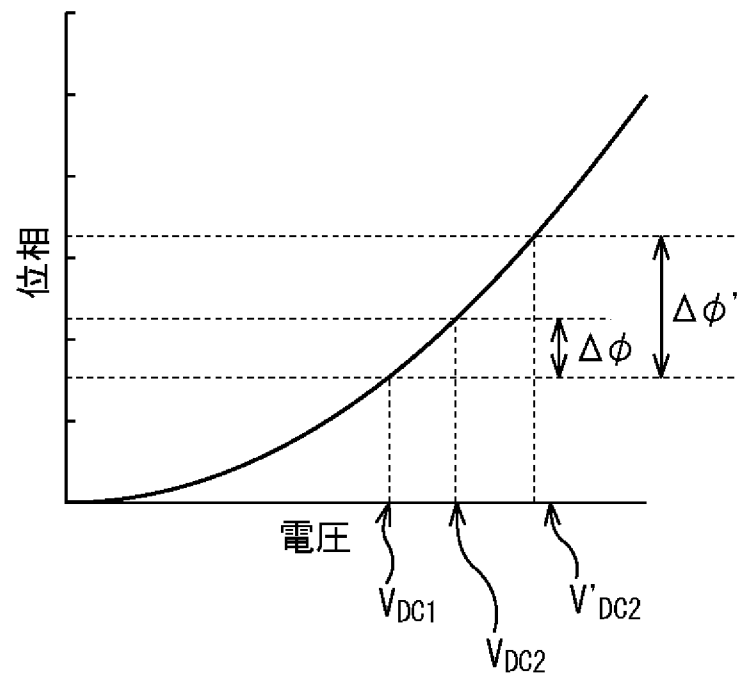
[図18]



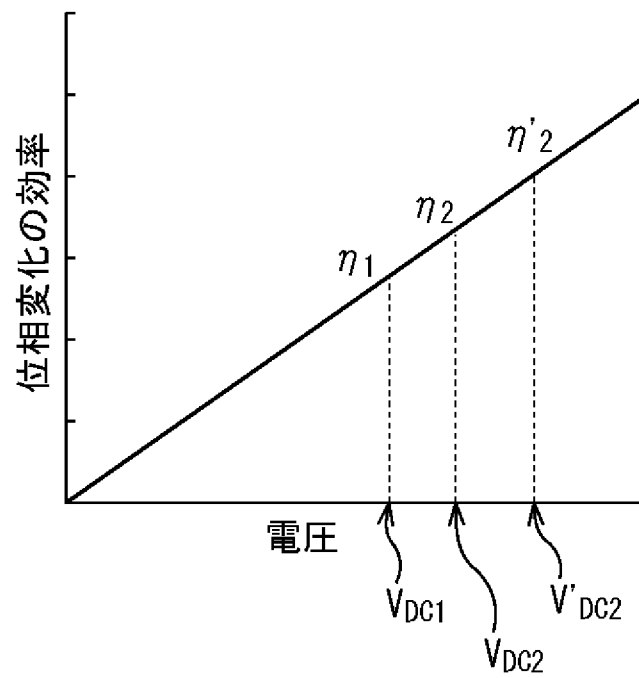
[図19]



[図20A]



[図20B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/057132

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/025 (2006.01) 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)

G02B6/12, G02F1/015-1/025, 1/061, 1/065, 1/29-1/313, 1/35, H01S5/02-5/026, 5/183, 5/50

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 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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

IEEE Xplore, JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	BETTY, I., et al., Zero Chirp 10 Gb/s MQW InP Mach-Zehnder Transmitter with Full-Band Tunability, Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conference 2007, 2007; pages 1 to 3	1, 8, 9, 15 5-7, 12-14, 17 2-4, 10, 11, 16, 18, 19
Y A	JP 2007-531022 A (Pirelli & C.S.P.A.), 01 November 2007 (01.11.2007), paragraphs [0113] to [0117]; fig. 8 & US 2009/0003841 A1 & WO 2005/096086 A1 & CN 001961254 A	5, 12 1-4, 6-11, 13-19
Y A	JP 2005-326548 A (Fujitsu Ltd.), 24 November 2005 (24.11.2005), paragraphs [0034] to [0041]; fig. 3 & US 2005/0254743 A1 & EP 1596246 A1	6, 7, 13, 14, 17 1-5, 8-12, 15, 16, 18, 19



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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 May, 2010 (21.05.10)

Date of mailing of the international search report

01 June, 2010 (01.06.10)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/057132

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-501908 A (BAE Systems PLC.), 21 January 2010 (21.01.2010), claim 1; paragraphs [0023] to [0036]; fig. 3 & WO 2009/071930 A1	6, 7, 13, 14, 17 1-5, 8-12, 15, 16, 18, 19
A	JP 2010-015041 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 21 January 2010 (21.01.2010), paragraphs [0028] to [0045]; fig. 7 to 9 (Family: none)	1-19

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. G02F1/025 (2006. 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（I P C）） Int.Cl. G02B6/12, G02F1/015-1/025, 1/061, 1/065, 1/29-1/313, 1/35 H01S5/02-5/026, 5/183, 5/50			
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 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 0 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 0 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 0 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） IEEE Xplore JSTPlus(JDreamII) JST7580(JDreamII)			
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	
X	BETTY, I., et al., Zero Chirp 10 Gb/s MQW InP Mach-Zehnder Transmitter with	1, 8, 9, 15	
Y	Full-Band Tunability, Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic	5-7, 12-14, 17	
A	Engineers Conference 2007, 2007, pages 1 to 3	2-4, 10, 11, 16, 18, 19	
☒ 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。			
* 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		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 「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 2 1 . 0 5 . 2 0 1 0		国際調査報告の発送日 0 1 . 0 6 . 2 0 1 0	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 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） 山本 貴一 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4	2 X 4 0 8 6

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
Y	JP 2007-531022 A (ピレリ・アンド・チ・ソチエタ・ペル・アツィ オーニ)	5, 12
A	2007. 11. 01, 段落【0113】 - 【0117】, 第8図 & US 2009/0003841 A1 & WO 2005/096086 A1 & CN 001961254 A	1-4, 6-11, 13-19
Y	JP 2005-326548 A (富士通株式会社) 2005. 11. 24, 段落【0034】 - 【0041】, 第3図	6, 7, 13, 14, 17
A	& US 2005/0254743 A1 & EP 1596246 A1	1-5, 8-12, 15, 16, 18, 19
Y	JP 2010-501908 A (ビーエイイー システムズ パブリック リミ テッド カンパニー)	6, 7, 13, 14, 17
A	2010. 01. 21, 請求項1, 段落【0023】 - 【0036】, 第3図 & WO 2009/071930 A1	1-5, 8-12, 15, 16, 18, 19
A	JP 2010-015041 A (日本電信電話株式会社) 2010. 01. 21, 段落【0028】 - 【0045】, 第7-9図 (ファミリーなし)	1-19