

(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
2024年8月15日(15.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/166321 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/025 (2006.01) *G02F 1/017* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/004435
- (22) 国際出願日: 2023年2月9日(09.02.2023)
- (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: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 尾崎 常祐 (OZAKI Josuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T知的財産センタ内 Tokyo (JP). 橋詰 泰彰

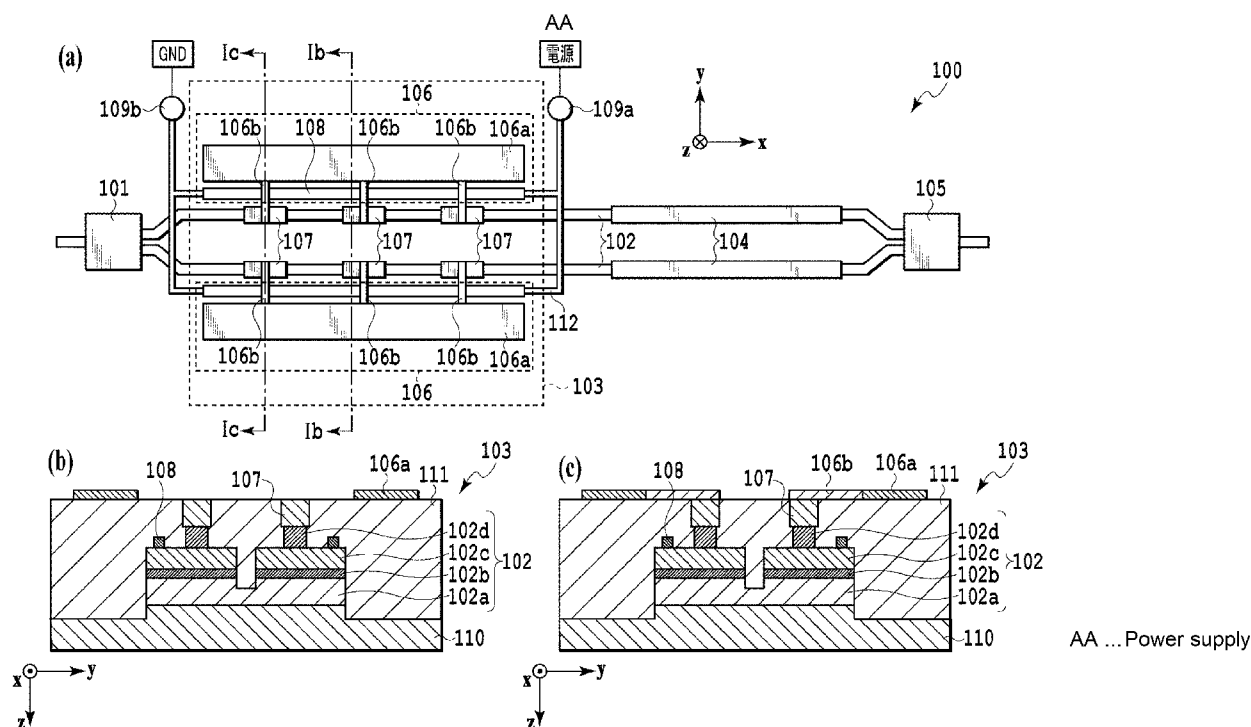
(HASHIZUME Yasuaki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T知的財産センタ内 Tokyo (JP). 布谷 伸浩 (NUNOYA Nobuhiro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人谷・阿部特許事務所 (TANI & ABE, P.C.); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6番20号 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,

(54) Title: SEMICONDUCTOR OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 半導体光変調器



(57) Abstract: The present invention provides a semiconductor optical modulator capable of dealing with a broader operating wavelength band than conventional semiconductor optical modulators. A semiconductor optical modulator according to the present disclosure comprises an optical waveguide and a phase modulation unit that modulates the phase of light propagating through the optical waveguide, the optical waveguide being structured so as to have sequentially stacked on a semiconductor substrate: a lower cladding layer formed from at least one layer of an n-type semiconductor or a p-type

LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

semiconductor; a core layer formed from a non-doped semiconductor including an MQW layer; and an upper cladding layer formed from at least one layer of an n-type semiconductor or a p-type semiconductor. The semiconductor optical modulator is characterized in that: the phase modulation unit comprises a heater mechanism for heating the optical waveguide and an RF electrode connected to the optical waveguide; the optical waveguide has a ridge structure; and the heater mechanism is formed on the core layer of the optical waveguide.

(57) 要約: 従来技術による半導体光変調器より広い動作波長帯域にも対応可能である半導体光変調器を提供する。本開示による半導体光変調器は、半導体基板上に、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された下部クラッド層と、MQW層を含むノンドープの半導体で形成されたコア層と、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された上部クラッド層が順に積層された構造を有する光導波路と、光導波路を伝搬する光の位相変調を行う位相変調部と、を備え、位相変調部は、光導波路を加熱するヒーター機構と、光導波路に接続されるRF電極と、を備え、光導波路はリッジ構造を有し、ヒーター機構は、光導波路のコア層上に形成されていることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：半導体光変調器

技術分野

[0001] 本開示は、半導体光変調器に関する。

背景技術

[0002] 近年における光ファイバ通信システムでは、デジタルコヒーレントをはじめとしたデジタル信号処理技術の導入により、1波長当たり100Gbpsの基幹網伝送技術が確立されている。現在では、この基幹網伝送技術は、1波長当たり400-600Gbpsまで高速化が進んでおり、実用化のレベルに達しつつある。

[0003] 400Gbpsを超える通信システムでは、アナログ部品の広帯域化（例えば、変調帯域40GHz以上）が求められることから、高周波（Radio Frequency：以下、RFともいう）の損失低減及び小型化を目的として、送信側ではRFドライバ（ドライバIC）と光変調器が一体パッケージ実装された形態が注目されている。このような実装形態を用いた送信器は、High-Bandwidth Coherent Driver Modulator（HB-CDM：高速ドライバ集積光変調器）という名前でOIF（The Optical Internetworking Forum）において標準化されている（例えば、非特許文献1参照）。また、HB-CDMにおいては、インジウムリン（InP）変調器が主に使用されている（例えば、非特許文献2参照）。

[0004] 光送信デバイスにおいて、近年では、従来のニオブ酸リチウム（LN）光変調器に代わり、半導体ベースの光変調器がデバイスの小型化及び低コスト化の観点で注目を集めている。特に、より高速な変調動作に対しては、InPに代表される化合物半導体が主に用いられ、また、より小型化及び低コスト化が重要視されるシステムにおいては、シリコン（Si）ベースの光デバイスに研究開発が集中している。

- [0005] 半導体光変調器においても材料固有の得失があり、例えば、I n P 変調器は高速な変調動作に優れる反面、バンド端吸収効果を制御するために、変調動作時には光変調器チップの温度制御が必須と考えられている。一方、L N 変調器やS i 変調器は、温度制御が不要となるメリットがあり、低消費電力化に有利であると考えられている。
- [0006] I n P 変調器をモジュール化する場合、温度制御のために、光変調器チップはペルチェ素子上に実装されることが必要となり、これが消費電力の増加の一因となり得る。加えて、当該ペルチェ素子の配置によりパッケージサイズを小型化できないという課題もある。したがって、ペルチェ素子を不要とする、或いはペルチェ素子を配置する領域を縮小することができれば、高速な変調動作に優れるI n P 変調器を搭載した高速で低消費電力かつ低背の光モジュールを実現することが可能である。
- [0007] また、I n P 変調器はバンド端吸収効果を用いるため、C 帯用とL 帯用でエピ構造の変更（P L 波長等による吸収のコントロール）を行うことが必須であり、C 帯とL 帯でチップを共用することが困難であるという課題もある。

先行技術文献

非特許文献

- [0008] 非特許文献1: Implementation Agreement for the High Bandwidth Coherent Driver Modulator (HB-CDM) , OIF-HB-CDM-02.0 (2021)<https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-HB-CDM-02.0.pdf>
- 非特許文献2: J. Ozaki, Y. Ogiso, Y. Hashizume, H. Yamazaki, K. Nagashima and M. Ishikawa, "Coherent Driver Modulator With Flexible Printed Circuit RF Interface for 128-Gbaud Operations", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 34, no. 23, pp. 1289-1292 (2022) doi: 10.1109/LPT.2022.3212678.

発明の概要

- [0009] 本開示は、上記のような課題に対して鑑みてなされたものであり、その目

的とするところは、従来技術による半導体光変調器より広い動作波長帯域（例えば、C+L帯）にも対応可能な半導体光変調器を提供することにある。

[0010] 上記のような課題に対し、本開示では、半導体光変調器であって、半導体基板上に、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された下部クラッド層と、MQW層を含むノンドープの半導体で形成されたコア層と、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された上部クラッド層が順に積層された構造を有する光導波路と、光導波路を伝搬する光の位相変調を行う位相変調部と、を備え、位相変調部は、光導波路を加熱するヒーター機構と、光導波路に接続されるRF電極と、を備え、光導波路はリッジ構造を有し、ヒーター機構は、光導波路のコア層上に形成されていることを特徴とする、半導体光変調器を提供する。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本開示の第1の実施形態による、InP変調器100の構造を例示する図であり、(a)は上面図を、(b)はIb-Ib断面線における断面図を、(c)はIc-Ic断面線における断面図を、それぞれ示している。

[図2]本開示の第1の実施形態によるInP変調器100の別の形態として、ヒーター機構108の配置が異なる形態を示す幅方向の断面図であり、(a)は、InP光導波路102がリッジ構造である場合の、図1におけるIb-Ib断面線における断面図を、(b)は、InP光導波路102がリッジ構造である場合の、図1におけるIc-Ic断面線における断面図を、(c)は、InP光導波路102がハイメサ構造である場合の、図1におけるIb-Ib断面線における断面図を、(d)は、InP光導波路102がハイメサ構造である場合の、図1におけるIc-Ic断面線における断面図を、それぞれ示している。

[図3]本開示の第1の実施形態によるInP変調器100の別の形態を示す幅方向の断面図であり、(a)は、図1におけるIb-Ib断面線における断面図を、(b)は、図1におけるIc-Ic断面線における断面図を、それぞれ示している。

[図4]本開示の第1の実施形態によるInP変調器100の別の形態を示す幅

方向の断面図であり、(a)は、図1におけるIb-Ib断面線における断面図を、(b)は、図1におけるIc-Ic断面線における断面図を、それぞれ示している。

[図5]本開示の第1の実施形態によるInP変調器100の別の形態を示す、図1におけるIb-Ib断面線における断面図であり、(a)は、ヒーター機構108がn-InP102a上に設置された形態を、(b)は、ヒーター機構108の一方はn-InP102a上、もう一方は基板110上に配置された形態を、それぞれ示している。

[図6]本開示の第2の実施形態による、InP変調装置600の構造を例示する長手方向の断面図であり、(a)はキャリア603を含まない構造を、(b)はキャリア603を含む構造を、それぞれ示している。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に、図面を参照しながら本開示の種々の実施形態について詳細に説明する。同一又は類似の参照符号は同一又は類似の要素を示し重複する説明を省略する場合がある。材料及び数値は例示を目的としており本開示の技術的範囲の限定を意図していない。以下の説明は、一例であって本開示の一実施形態の要旨を逸脱しない限り、一部の構成を省略若しくは変形し、又は追加の構成とともに実施することができる。

[0013] (第1の実施形態)

以下に、本開示の第1の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。以下では一例として、単体のマッハツェンダー変調器を示すが、これを複数配列した、IQ変調器やTwin-IQ変調器等であってもよい。また、以下では、一例として、InP変調器を例に挙げて説明をしているが、GaAs等の他の材料系の半導体光変調器であってもよい。

[0014] 図1は、本開示の第1の実施形態による、InP変調器100の構造を例示する図であり、(a)は上面図を、(b)はIb-Ib断面線における断面図を、(c)はIc-Ic断面線における断面図を、それぞれ示している。図1に示される通り、InP変調器100は、1入力2出力(1×2)の多モード干渉

型導波路 (MultiMode-Interferometer: 以下、MMI という) 101 と、MMI 101 で分岐された光が伝搬する InP 光導波路 102 と、伝搬する光の位相変調を行う位相変調部 103 と、位相変調部 103 の出力側に設置され、位相変調された光の位相調整を行う、位相調整電極 104 と、位相調整電極 104 の出力側に設置され、分岐された光を合波して外部に出力する 2×1 MMI 105 と、を含む。図 1 に示されるように、InP 変調器 100 は、マッハツェンダー型の光変調器である。

[0015] 図 1 (a) 及び (b) に示される通り、位相変調部 103 は、基板 110 と、基板 110 上に形成された光導波路 102 と、印加される RF の電極として機能する RF 位相変調電極 106 と、RF 位相変調電極 106 から供給された高周波を光導波路 102 に印加するための電極である RF 電極 107 と、光導波路 102 を加熱するヒーター機構 108 と、基板 110 上に形成され、光導波路 102 及びヒーター機構 108 の周囲を覆う誘電体層 111 と、をさらに含む。ヒーター機構 108 は金属配線 112 と接続され、当該金属配線 112 は、PAD 109a、b で 1 つに集約され、外部の電源及び GND と接続される。なお、図 1 では、金属配線 112 を含む形態を図示しているが、当該金属配線 112 の部分もヒーター機構 108 と同等な金属配線としてもよく、全く別の金属配線としてもよい。また、図 1 では、ヒーター機構 108 の方が太く、金属配線 112 の方が細くなるように図示されているが、ヒーター機構 108 の方が細く、金属配線 112 の方が太い形態であってもよい。

[0016] 光導波路 102 は、基板上に形成された少なくとも 1 層以上の n 型半導体層で形成された第 1 のクラッド層 102a と、102a に形成された少なくとも 1 層以上の p 型半導体層で形成された第 2 のクラッド層 102b と、102b 上に形成されたノンドープの半導体コア層 102c と、当該半導体コア層 102c に形成された少なくとも 1 層以上の n 型半導体層で形成された第 3 のクラッド層 102d が積層された、nipn 層構造を有する。半導体コア層 102c は、例えば、ノンドープの InP、InGaAsP、InG

a A l A s などの材料系が用いられた多量子井戸 (Multi Quantum Well : 以下、MQWという) 層を含む。当該MQW層のバンドギャップ波長は、使用する光波長において、電気光学効果が有効に作用し、且つ、光吸収が問題とならないような範囲に任意で設定される。ここで、半導体コア層 102c は、光が伝搬するコアとして機能する。このような n i p n 層構造は、高周波損失への影響が大きい p 層を薄くし、且つ金属である R F 電極 107 とのコンタクト面を n 層とすることができるため、従来の p i n 層構造に比べ、高周波損失を大幅に低減することが可能である。但し、これは例示を目的としており、光導波路 102 は、p i n 層構造を有していてもよい。

[0017] R F 位相変調電極 106 は容量装荷構造を有しており、主線路部 106a と、I n P 光導波路 102 に変調信号を印加するために、主線路部 106a から周期的に分岐した T 字部 106b と、を含む。I n P 変調器 100 は、当該 T 字部 106b が容量を追加する構造であるため、容量装荷型と呼ばれている。尚、図 1 では簡略化のため、T 字部 106b は 3 体のみの描画としているが、これは例示を目的としており、3 体以上の T 字部 106b が配置されてよく、それ以下であってもよい。また、本実施例では、一例として容量装荷構造を示しているが、本特許構造は容量装荷構造以外にも有効である。

[0018] ヒーター機構 108 は、I n P 変調器 100 のノンドープ半導体コア層 102c を構成する、位相変調に寄与する MQW に熱を供給 (加熱) する。このような構成により、ペルチェ素子を用いずとも、MQW の温度制御が可能な機構とすることができる。MQW の温度をヒーター機構 108 で制御することで、当該 MQW の光吸収及び量子閉じ込めシュタルク効果 (Quantum Confined Stark Effect : QCSE) に基づく屈折率効果の量を適切に調整することが可能である。例えば、MQW の温度が上がるとバンド端が長波側にシフトするため、より長波長側での動作に適した状態となる。ヒーター機構 108 は、通常、金属であり得る。そのため

、主線路部106aの厚さ方向（z方向）の直下にヒーター機構108が配置されると、RF位相変調電極106及びRF電極107の高周波の電磁界分布に影響を与え、結果としてInP変調器100の高周波特性が劣化し得る。したがって、ヒーター機構108は、RF位相変調電極106及びRF電極107から、干渉しない（各々の高周波の電磁界分布に影響を及ぼさない）程度の距離を設けて（例えば、図1（a）、（b）に示されるように、幅方向（y方向）に対して主線路部106aとRF電極107の間に位置するように）、且つRF位相変調電極106及びRF電極107の長手方向（x方向）に対して平行になるように配置されることが望ましい。また、ヒーター機構108は、位相変調に寄与する部分のMQW層を全て加熱する必要があるため、x方向の長さは、RF位相変調電極106のx方向の長さと同様又はそれ以上であることが望ましい。ヒーター機構108の抵抗値は、設計に応じて任意に設定されてよい。例えば、T字部106bに接続されたRF電極107が設置される周辺領域のみ、ヒーター機構108の抵抗を他の領域に比べて高く設定されてもよい。但し、光変調器として所望の発熱量を有することが必要であることから、ヒーター機構108の抵抗値は、少なくとも300Ω以上であることが望ましい。

[0019] ヒーター機構108は、光導波路102の分岐した各々のアームに対し、均一に加熱できるように構成されることが望ましい。このため、ヒーター機構108は、分岐した光導波路102の各々に対して設けられる。さらに、ヒーター機構108は、分岐した光導波路102各々に対し、同等な熱を供給するために、1つのPAD109a、bに集約された上で電源（電圧源又は電流源）及びGNDと接続されることが望ましい。例えば、InP変調器100が、Twin-IQ変調器等である場合には、マッハツェンダー変調器が4つ集積された構成となるため、8本のヒーター機構108が必要となる。このようなTwin-IQ変調器をHB-CDMに用いる場合、必要なPADやピンが増大し得るとともに、制御も困難となり得る。したがって、8本すべてのヒーター機構108が同一のPAD109a、bに集約

されることが望ましい。尚、PAD 109 a、bの形状は、図1では、丸形状として描画されているが、これ例示を目的としており、例えば、正方形であってもよい。

[0020] 位相変調部103において、光導波路102の構造は、半導体コア層102cを直接的に加熱するという観点から、リッジ構造であることが望ましい。当該構造は、ハイメサ構造であってもよいが、そのような場合、光導波路102の幅(y方向の長さ)は、第3のクラッド層102dと同じ幅で加工されることとなるため、半導体コア層102c上にヒーター機構108を設置することができなくなる。したがって、光導波路102がハイメサ構造を有する場合では、ヒーター機構108は、後述するように他の位置(例えば、基板110上)に配置される必要があり、これに伴って、半導体コア層102cの加熱効率が低下する。一方、光導波路102の構造がリッジ構造である場合、ヒーター機構108は、半導体コア層102c上に設置されることができするため、半導体コア層102cを直接的に加熱することが可能となる。このような観点から、光導波路102の構造は、ハイメサ構造よりリッジ構造である方が有効と言える。但し、ヒーター機構108が、他の位置(例えば、基板110上)に設置されたとしても、半導体コア層102cを加熱すること自体は可能であるため、ヒーター機構108は、必ずしも半導体コア層102c上に設置されなくともよい。

[0021] 図2は、本開示の第1の実施形態によるInP変調器100の別の形態として、ヒーター機構108の配置が異なる形態を示す幅方向の断面図であり、(a)は、光導波路102がリッジ構造である場合の、図1におけるIb-Ib断面線における断面図を、(b)は、光導波路102がリッジ構造である場合の、図1におけるIc-Ic断面線における断面図を、(c)は、光導波路102がハイメサ構造である場合の、図1におけるIb-Ib断面線における断面図を、(d)は、光導波路102がハイメサ構造である場合の、図1におけるIc-Ic断面線における断面図を、それぞれ示している。図2に示される通り、InP変調器100では、ヒーター機構108は、基板110上に配置されて

もよい。このような形態とすれば、光導波路102の構造は、リッジ構造であってもよく、ハイメサ構造であってもよい。上述の通り、ヒーター機構108を基板110上に配置した形態では、図1に示される形態に比べ、MQWを含む半導体コア層102cの加熱という観点では効率が低下する。しかしながら、このような形態は、ヒーター機構108と、RF位相変調電極106及びRF電極107との距離が、図1に示される形態に比べて大きくなるため、高周波特性への劣化を抑制できるという特徴を有する。

[0022] 上述した様に、ヒーター機構108と、RF位相変調電極106及びRF電極107との距離が近い場合、通常、金属であるヒーター機構108がRF位相変調電極106及びRF電極107の高周波の電磁界分布に影響を与え、結果としてInP変調器100の高周波特性が劣化し得る。このような観点から、本開示によるInP変調器100では、ヒーター機構108とRF位相変調電極106の配置は、可能な限り各々の距離が長くなる（離れる）ように配置することが望ましい。例えば、図2に示されるような、ヒーター機構108が基板110上に設置される形態では、誘電体層111を厚膜とすること等により、RF位相変調電極106及びRF電極107とヒーター機構108との厚さ方向（z方向）の距離を長くすることができる。別の例として、図3に示されるように、T字部106bとRF電極107との間にビア301を設置してもよい。また、図3のようにRF電極107が誘電体層111に埋め込まれている場合には、当該RF電極107を厚膜とすることで、RF位相変調電極106とヒーター機構108との厚さ方向の距離を長くするような構成としてもよい。このような構成とすれば、ビア301を不要とすることも可能である。またさらに別の例として、図4に示されるように、誘電体層111における光導波路102の上部に相当する領域のみを薄化する（換言すれば、主線路部106aが配置される領域のみ、誘電体層111を厚くする）構造としてもよい。但し、図4に示されるような形態の場合、T字部106bとヒーター機構108との間の距離は、部分的に短くなり得る。

[0023] また、ヒーター機構108の配置又は寸法の制御によって、上述したような高周波特性劣化の抑制が行われてもよい。例えば、ヒーター機構108の径（ x y 面に垂直な面）を細くすることにより、ヒーター機構108がRF位相変調電極106の高周波の電磁界分布に与える影響を抑制することができる。ヒーター機構108の幅（ y 方向の長さ）は、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることが望ましく、仮に $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることができれば、高周波特性への影響はほとんど無視することができる。但し、当該径が極度に細くなる場合、加熱時の断線が懸念されるため、この断線が生じないような径の寸法は確保される必要がある。また、主線路部106aとヒーター機構108との厚さ方向（ z 方向）及び幅方向（ y 方向）の距離は、少なくとも $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。このような観点を考慮すると、ヒーター機構108の径は、例えば、厚さ及び幅が共に $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

[0024] 一方で、ヒーター機構108は、通常のInP変調器がペルチェ素子で温度制御される $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 程度の発熱以上を実現する必要があるという観点から、少なくとも 100°C 程度の発熱量を有することが望ましい。したがって、例えば、ヒーター機構108は、少なくとも $300\text{ }\Omega$ 以上の抵抗値を有するように構成されることが望ましい。追加の例として、半導体コア層102cに温度を効率的に供給するという観点から、熱が半導体コア層102cの下部に放出されるのを抑制するために、第3のクラッド層102bは、熱抵抗を半導体クラッド層102cよりも高くなるように設定されてもよい。

[0025] また、ヒーター機構108は、図5に示される通り、第1のクラッド層102a上に設置されてもよい。さらに、ヒーター機構108は、例えば、一方は第1のクラッド層102a上、もう一方は基板110上というように、各々が別の位置に設置されてもよい。

[0026] このように構成される、本実施形態によるInP変調器100では、動作波長に応じて、ヒーター機構108の発熱量を電流又は電圧のいずれかにより制御すれば、InP変調器の動作波長範囲を広げることが可能となる。一般的に、InP変調器では、QCSEと呼ばれるバンド端吸収の変化による

屈折率効果を用いる。一般的に光半導体の光吸収量は、短波側が大きく、長波側は小さいという特徴がある。そのため、幅広い波長帯で使用すると、長波側では変調効率が低くなるという事象が発生し、C帯動作の変調器と、L帯動作の変調器では、別途MQW層のPL波長を変更する必要があった（例えば、従来技術によるInP変調器では、C帯に比べてL帯はPL波長をより長波側にする必要があった）。これに対し、本実施形態によるInP変調器100では、例えば、同一温度下であれば、長波側の動作時によりヒーター機構108の発熱量を大きくすることで、MQWの温度を高めバンド端を長波側にシフトさせ、短波側では発熱量を小さくし、MQWの温度を下げることで、バンド端の長波側へのシフト量を小さくするというように、バンド端の変化量を波長に応じて調整することによって、これまでなかったC帯及びL帯で動作が可能なInP変調器とすることが可能となる。尚、後述するが、同様に、ペルチェ素子上にInP変調器が搭載されている場合には、ペルチェ素子の温度を波長に応じて変化させることでも同様の効果を得ることは可能である。

[0027] また、本実施形態によるInP変調器100では、MQW層を有する半導体コア層の温度をヒーター機構108により制御することが可能である。このため、従来技術におけるペルチェ素子を不要とすることが可能であり、本実施形態によるInP変調器100を用いた光モジュールの小型化・低消費電力化を実現することが可能となる。一方で、本構造を持ちつつペルチェ素子も使用するという併用も可能である（詳細は、後述の第2の実施形態にて述べる）。

[0028] さらに、HB-CDMのように、ドライバが、変調器のヒーター機構からの熱の影響を受ける程度に隣接して実装されるような形態において、ドライバICが温度モニタ機構を有する場合、ドライバICの温度モニタ機構を利用することにより、i-InP102c（MQW）温度の相対値を算出することが可能であるため、当該温度をモニタ値として、所望の温度になるようにヒーター機構108で加熱するというような制御が可能となる。例えば、

同一波長で動作する場合、ドライバのモニタ温度が高い場合にはヒーター機構 108 の加熱を抑制し、モニタ温度が低い場合にはヒーターの加熱を促進するという制御が可能となる。

[0029] 尚、上述した、本実施形態による InP 変調器 100 を HB-CDM に用いる場合、位相変調部 103 の動作温度の範囲は、従来技術による半導体光変調器とは異なる範囲で設定されることが望ましい。通常、HB-CDM では、少なくとも環境温度が $-5 \sim 75^{\circ}\text{C}$ で動作することが求められる。一方、ヒーター機構 108 は、加熱しか行えず、冷却は行えない。そのため、例えば任意の 1 波長に関して考えると、半導体コア層 102c (MQW) の温度は、 $-5 \sim 75^{\circ}\text{C}$ の環境温度の範囲下において、ヒーター機構 108 によって温度は一定に制御される必要がある。そのため、具体的には、InP 変調器 100 の動作温度は、ヒーター機構 108 により環境温度の 75°C 以上に制御される必要がある。従来技術による半導体光変調器では、およそ $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ の範囲で、ペルチェ素子により温度制御されるが、本実施形態による InP 変調器 100 の適正な動作温度を従来技術と同様に $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ で設定すると、環境温度が 75°C になった際に、冷却を行うことができず、所望の温度を実現できないという問題が生じる。そのため、任意の 1 波長の動作において、 $-5 \sim 75^{\circ}\text{C}$ での環境温度下で半導体コア層 102c (MQW) の温度を適正範囲に維持するためには、少なくとも本実施形態による InP 変調器 100 は、 75°C 以上で適正な動作が可能な設計となっている必要がある。尚、消費電力やヒーター機構 108 の安定動作も考慮し、最高環境温度 $+10^{\circ}\text{C}$ 以内程度に適正温度を納めるように設定するのが望ましい。

[0030] (第 2 の実施形態)

以下に、本開示の第 2 の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。本実施形態は、第 1 の実施形態で述べた InP 変調器 100 とペルチェ素子を含む InP 変調装置に関する。

[0031] 図 6 は、本開示の第 2 の実施形態による、InP 変調装置 600 の構造を例示する長手方向の断面図であり、(a) はキャリア 603 を含まない構造

を、(b)はキャリア603を含む構造を、それぞれ示している。図6に示される通り、本実施形態によるInP変調装置600は、第1の実施形態によるInP変調器100が、ペルチェ素子601及び誘電体基板602上に載置された構造を有する。また、図6(b)に示される通り、InP変調装置600は、ペルチェ素子601及び誘電体基板602の上、且つInP変調器100の下に、キャリア603をさらに含んでもよい。

[0032] ペルチェ素子601は、最も効率的な熱印加とする（可能な限りペルチェ素子の消費電力を抑圧する）ためには、図6に示される通り、位相変調部103のみが当該ペルチェ素子601上に載置されるように設置されることが望ましい。より最適化すると、位相変調アーム下部のみにペルチェ素子を設けることが最適である。ただし、本例は一例であり、チップ全体がペルチェ素子601上に搭載されていてもよい。その場合は通常の変調器に比べ、ヒーター機構を余分に設けていることで、消費電力が結果として増大してしまうことになる。これはペルチェの消費電力はペルチェの面積に依存するためである。そのため、ヒーター機構による発熱によるペルチェ素子の消費電力の増大を考慮すると、本ヒーター機構を有した光変調器において、従来通りの消費電力を実現するためにはペルチェ素子のサイズを非常に小さくする必要がある。

[0033] 誘電体基板602は、必ずしもInP変調装置600に含まれる必要はないが、レンズ等の光学実装部材（図示せず）を搭載する領域を確保するという観点から、設置されることが望ましい。誘電体基板602には、放熱性に優れた窒化アルミニウム（AlN）等のセラミックスや金属が用いられ得る。

[0034] キャリア603は、RF位相変調電極106と位相調整電極104との間を熱分離するという観点から、熱分離溝604をさらに含むことが望ましい。これは、例えば位相調整電極104はヒーターで構成されるのがInP変調器では一般的であり、その場合、当該位相調整電極104のヒーターの熱が、ペルチェ素子601に流入し、当該ペルチェ素子601の消費電力が増

えることになってしまうためである。また、キャリア603は、ペルチェ素子601からオーバーハングする形態であってもよく、当該キャリア603の下部に追加の構成要素（例えば、誘電体基板602）を設置するような構成としてもよい。加えて、キャリア603は、必要に応じて、レンズ等の光学実装部材が実装される領域にのみ、段差（図示せず）を有してもよい。

[0035] このような構成を有する、I n P変調装置600は、ペルチェ素子601を含むため、当該ペルチェ素子601の温度を波長に応じて制御することにより、I n P変調器100のヒーター機構108の効果と同様に、動作波長域を広げることが可能となる。本実施形態によるI n P変調装置600では、ペルチェ素子601は、R F位相変調電極106に相当する領域のみに設置される。このため、I n P変調装置600全体をペルチェ素子上に載置する場合に比べ、当該ペルチェ素子601が占有する領域を縮小することができ、消費電力の抑制が可能となる。

[0036] 一方で、従来のI n P変調器では、ペルチェ素子の温度を波長毎に切り替えることはなかったため、上記のような運用は難しい可能性が高い。この場合、ペルチェ素子の設定温度が一定として動作をさせるようなケースとなるが、その場合には、第1の実施形態と同様な構成であるヒーター機構108により、動作波長毎にコントロールした熱量を当該部分にのみピンポイントに印加することで動作波長を拡大し、C + L帯動作等を実現することが可能である。ただし、ペルチェ素子601が温度を波長毎に切り替えることができる場合は、ヒーター機構108を用いずとも動作波長の拡大を実現することも可能である。

産業上の利用可能性

[0037] 以上述べた通り、本開示による半導体光変調器（I n P変調器）は、波長動作範囲を従来技術に比べて拡大することが可能である。このような半導体光変調器は、従来技術より広帯域に適用できるような光変調器として、H BーC D M等の光ファイバ通信システム用デバイスへの適用が見込まれる。

請求の範囲

[請求項1]

半導体光変調器であって、

半導体基板上に、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された下部クラッド層と、MQW層を含むノンドープの半導体で形成されたコア層と、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された上部クラッド層が順に積層された構造を有する光導波路と、

前記光導波路を伝搬する光の位相変調を行う位相変調部と、
を備え、

前記位相変調部は、

前記光導波路を加熱するヒーター機構と、

前記光導波路に接続されるRF電極と、

を備え、

前記光導波路はリッジ構造を有し、

前記ヒーター機構は、前記光導波路のコア層上に形成されていることを特徴とする、

半導体光変調器。

[請求項2]

半導体光変調器であって、

半導体基板上に、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された下部クラッド層と、MQW層を含むノンドープの半導体で形成されたコア層と、少なくとも1層以上のn型半導体またはp型半導体で形成された上部クラッド層が順に積層された構造を有する光導波路と、

前記光導波路を伝搬する光の位相変調を行う位相変調部と、
を備え、

前記位相変調部は、

前記光導波路を加熱するヒーター機構と、

前記光導波路に接続されるRF電極と、

を備え、

前記光導波路はリッジ構造又はハイメサ構造を有し、

前記ヒーター機構は、前記基板上に形成されることを特徴とする、
半導体光変調器。

[請求項3] 前記ヒーター機構は、前記 R F 電極の長手方向に対して平行になるように配置されており、抵抗値は $300\ \Omega$ 以上である、請求項 1 または 2 に記載の半導体光変調器。

[請求項4] 主線路部及び前記主線路部と前記 R F 電極とを接続する複数の T 字部を含む R F 位相変調電極をさらに備え、前記主線路部と前記ヒーター機構との厚さ方向及び幅方向の各々の距離は、少なくとも $5\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする、請求項 3 に記載の半導体光変調器。

[請求項5] 前記光導波路は、半絶縁性基板上に形成されており、
前記基板上に形成された少なくとも 1 層以上 n 型半導体で構成される第一の n 型半導体層と、
前記 n 型半導体層上に形成された少なくとも 1 層以上の p 型半導体で構成される p 型半導体層と、
前記 p 型半導体層上に形成され、MQW 層を含むノンドープの半導体で形成されたコア層と、
前記コア層上に形成された少なくとも 1 層以上の n 型半導体で構成される第 2 の n 型半導体層と、
を備えた n i p n 構造を有し、
前記 p 型半導体の熱抵抗は、前記ノンドープ半導体の熱抵抗よりも高く設定される、
請求項 4 に記載の半導体光変調器。

[請求項6] 同一の環境温度下において、前記位相変調部の前記光導波路の温度が、波長毎に調整されており、長波長側ほど前記光導波路の動作温度が高くなっていることを特徴とする、請求項 4 に記載の半導体光変調器。

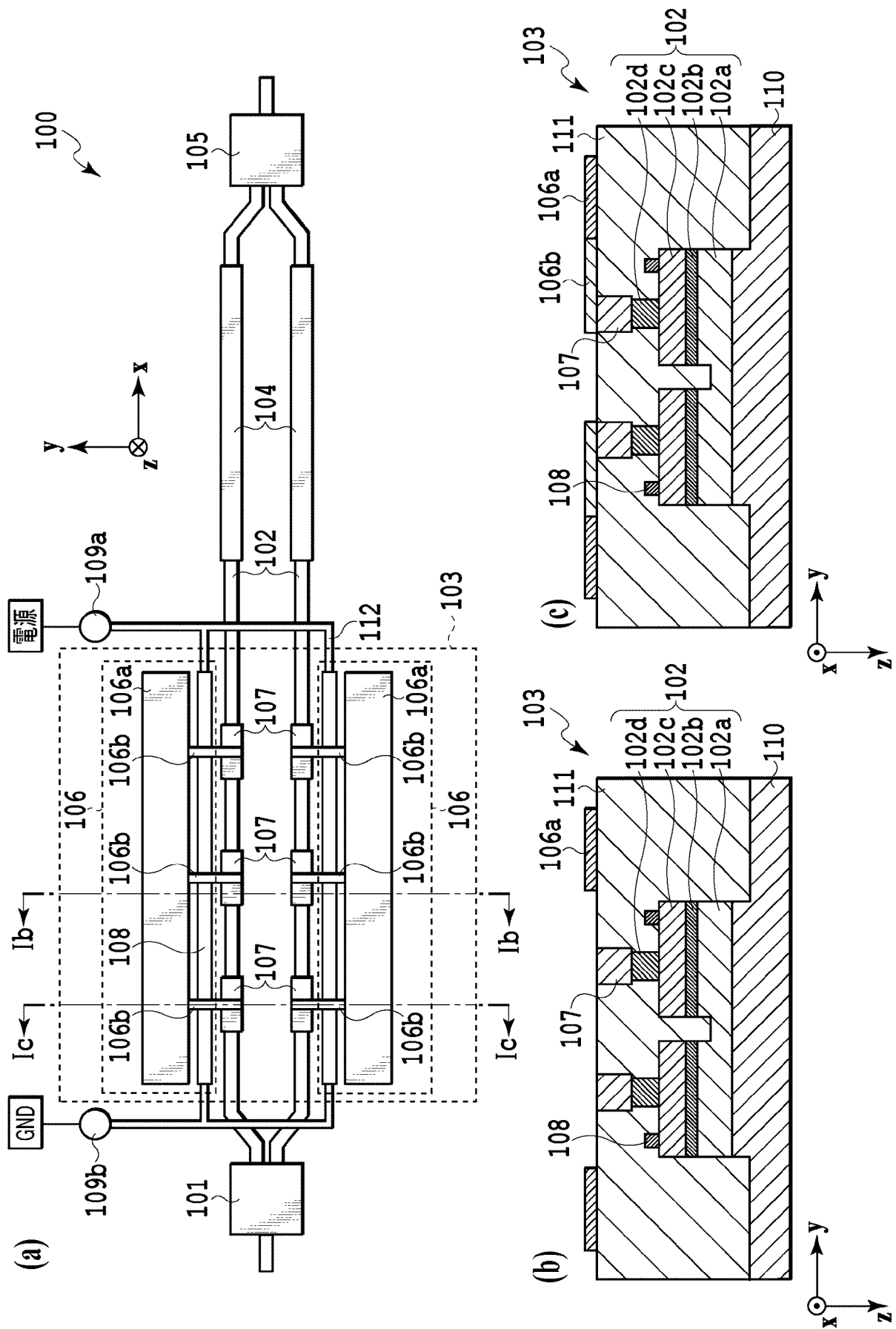
[請求項7] 前記半導体光変調器の設計動作温度が、少なくとも前記半導体光変調器の動作が求められる環境温度の最高温度以上であり、且つ、動作波長に応じて、前記ヒーター機構の発熱量が電流または電圧制御のどちらかによりコントロールされており、同一温度下であれば、長波長側の動作時によりヒーターの発熱量が大きくなっていることを特徴とする特徴とする、請求項6に記載の半導体光変調器。

[請求項8] 請求項4に記載の半導体光変調器を備えた半導体変調装置であって、

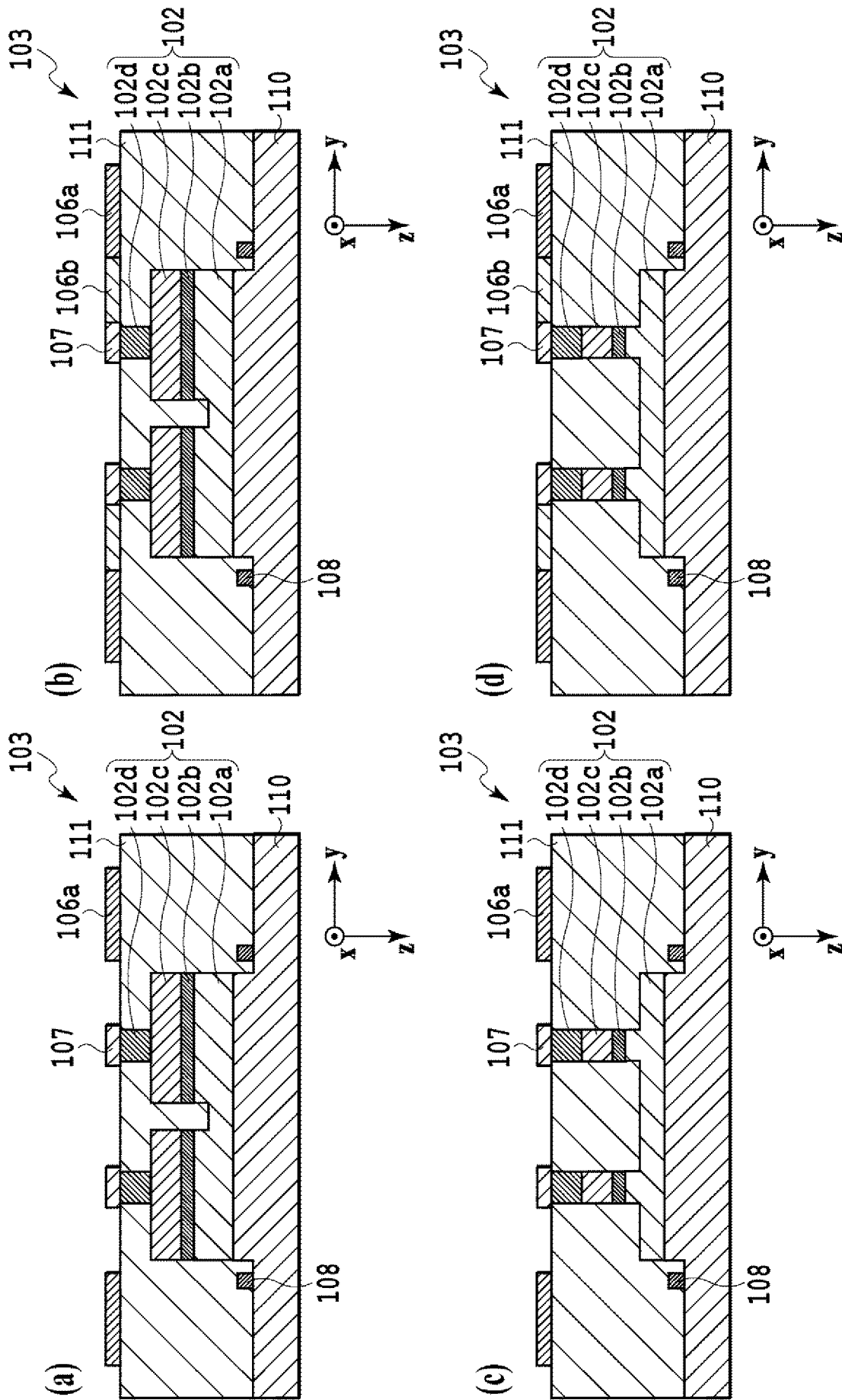
温度モニタ機構を有し、前記半導体光変調器と同一パッケージ内に隣接して実装されるドライバICを備え、

前記ドライバICの前記温度モニタ機構によりモニタリングされる前記ドライバIC周囲の温度を参照し、前記半導体光変調器の前記ヒーター機構の発熱量が、電流または電圧制御のどちらかによりコントロールされ、同一波長で比較した際に、前記温度モニタ機構がモニタリングする温度が高いほど、前記ヒーター機構の発熱量が小さくなる特徴とする、半導体変調装置。

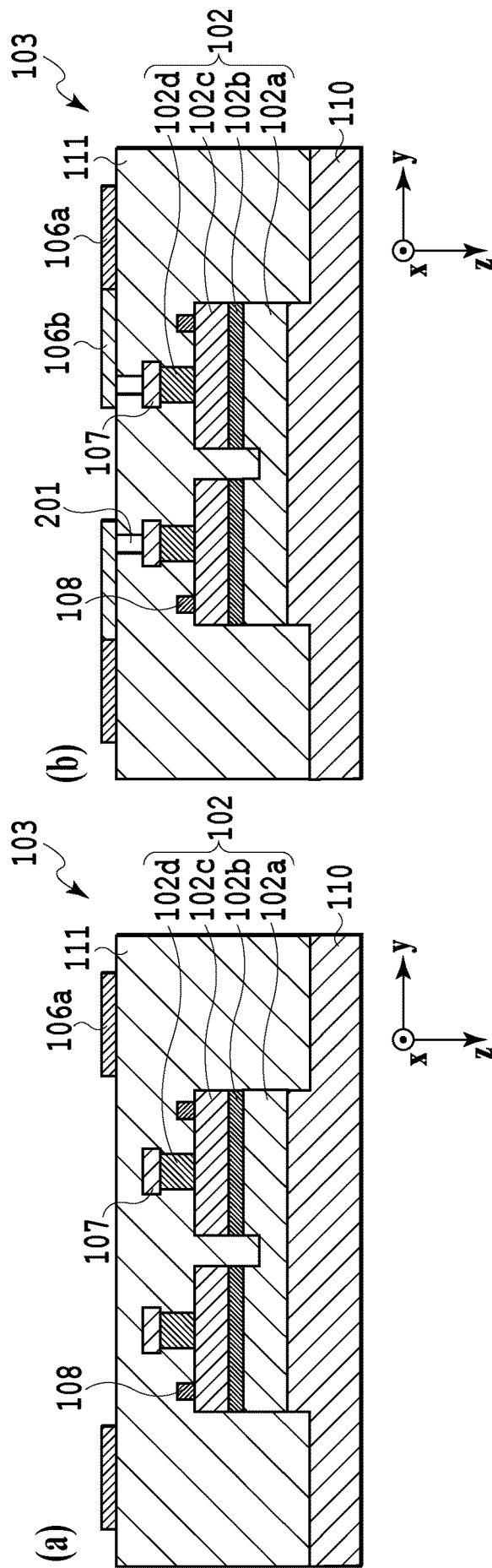
[図1]



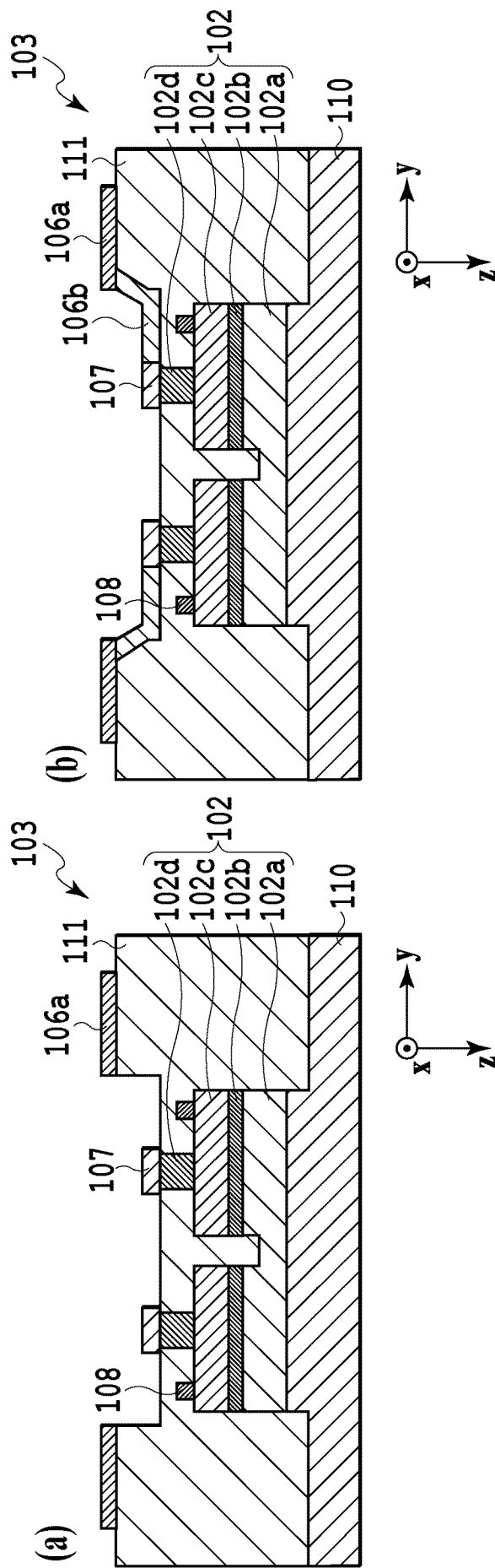
[図2]



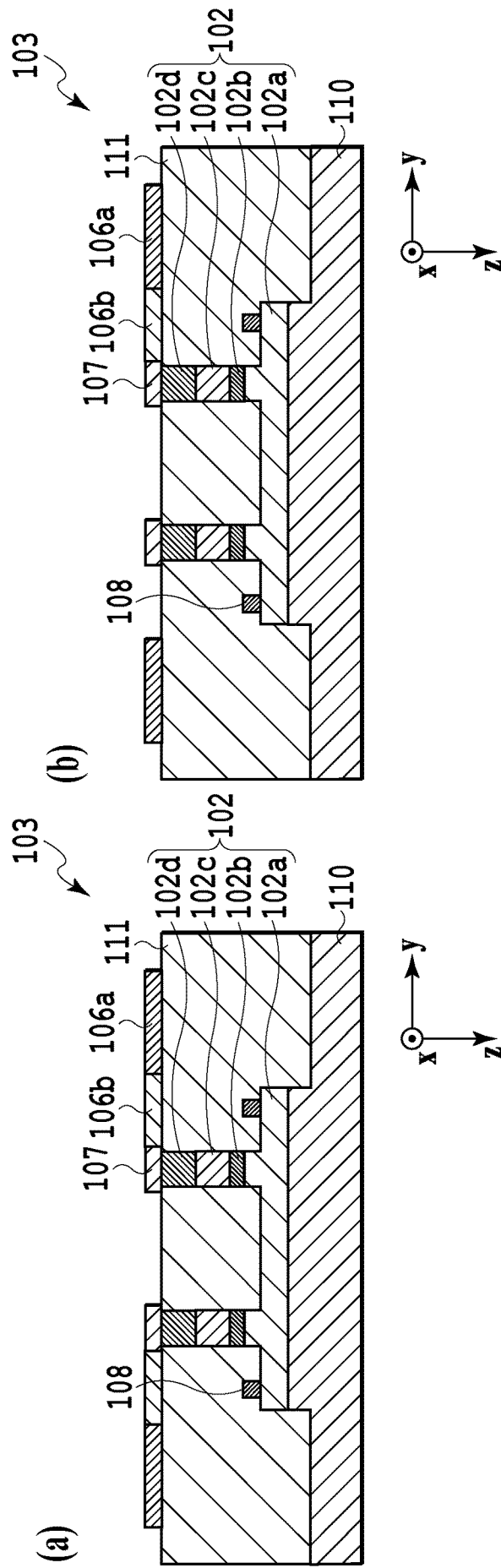
[図3]



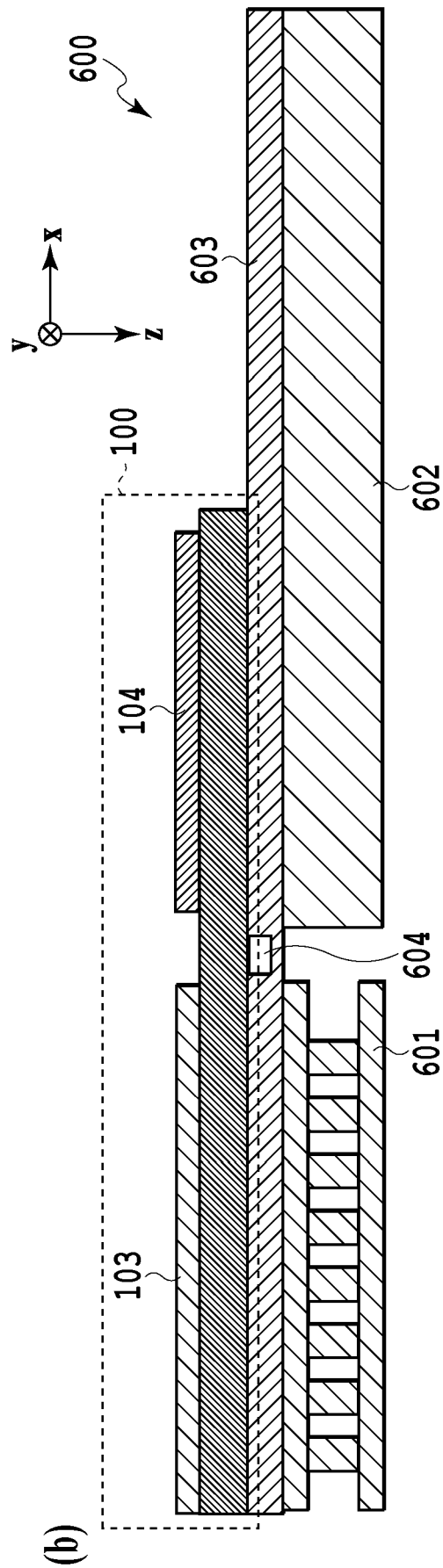
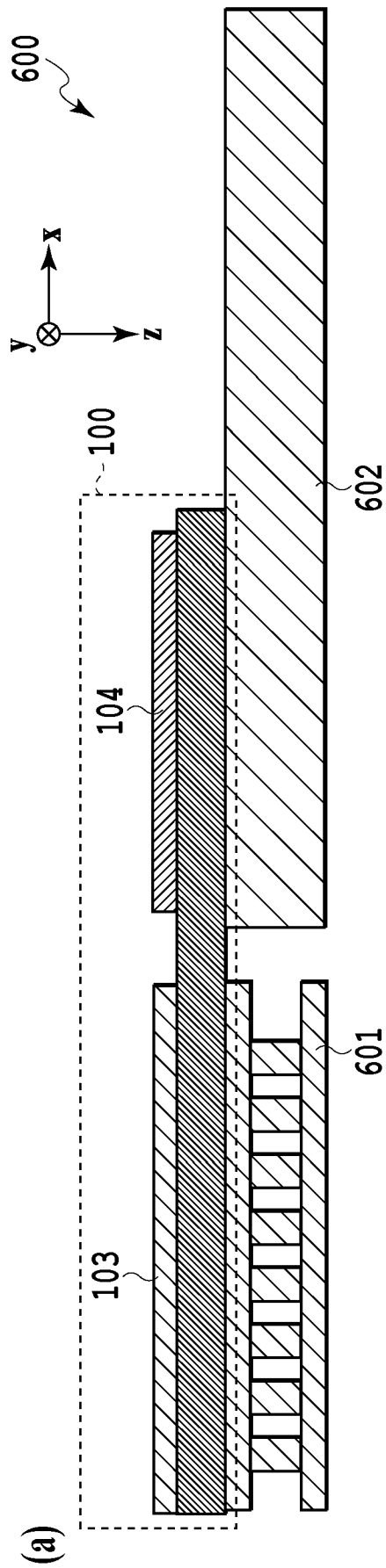
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/004435

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02F 1/025**(2006.01)i; **G02F 1/017**(2006.01)i

FI: G02F1/025; G02F1/017 505

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)

G02F1/00-1/025; H01S5/0239; H01S5/026; G02B6/12-6/14

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

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	WO 2022/029855 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 10 February 2022 (2022-02-10) paragraphs [0032], [0071]-[0073], [0091]-[0093], fig. 5, 15	1-8
A	WO 2011/132283 A1 (FUJITSU LIMITED) 27 October 2011 (2011-10-27) paragraph [0041], fig. 5	1-8
A	WO 2021/106158 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 03 June 2021 (2021-06-03) entire text, all drawings	1-8
A	JP 2017-161830 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 14 September 2017 (2017-09-14) entire text, all drawings	1-8
A	WO 2022/024276 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 03 February 2022 (2022-02-03) entire text, all drawings	1-8



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

24 March 2023

Date of mailing of the international search report

04 April 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/004435

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2021/0203126 A1 (PARKER, J.) 01 July 2021 (2021-07-01) entire text, all drawings	1-8
A	OZAKI, J. et al., "Coherent Driver Modulator With Flexible Printed Circuit RF Interface for 128-Gbaud Operations", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 01 December 2022, vol. 34, no. 23, pp. 1289-1292, entire text, all drawings entire text, all drawings	1-8
A	VANHOECKE, M. et al., "Segmented Optical Transmitter Comprising a CMOS Driver Array and an InP IQ-MZM for Advanced Modulation Formats", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 15 February 2017, vol. 35, no. 4, pp. 862-867, entire text, all drawings entire text, all drawings	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/004435

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2022/029855	A1	10 February 2022	CA 3190632 A1 paragraphs [0032], [0071]- [0073], [0091]-[0093], fig. 5, 15	
WO	2011/132283	A1	27 October 2011	US 2013/0108204 A1 paragraph [0087], fig. 5	
WO	2021/106158	A1	03 June 2021	US 2023/0010874 A1	
JP	2017-161830	A	14 September 2017	(Family: none)	
WO	2022/024276	A1	03 February 2022	(Family: none)	
US	2021/0203126	A1	01 July 2021	EP 3842857 A1 CN 113050304 A KR 10-2021-0084191 A SG 10202001278V A TW 202125844 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/025(2006.01)i; G02F 1/017(2006.01)i FI: G02F1/025; G02F1/017 505		
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）） G02F1/00-1/025; H01S5/0239; H01S5/026; G02B6/12-6/14		
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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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		
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	WO 2022/029855 A1（日本電信電話株式会社）10.02.2022（2022-02-10） 段落 [0032]、[0071] - [0073]、[0091] - [0093]、図5、15	1-8
A	WO 2011/132283 A1（富士通株式会社）27.10.2011（2011-10-27） 段落 [0041]、図5	1-8
A	WO 2021/106158 A1（日本電信電話株式会社）03.06.2021（2021-06-03） 全文、全図	1-8
A	JP 2017-161830 A（古河電気工業株式会社）14.09.2017（2017-09-14） 全文、全図	1-8
A	WO 2022/024276 A1（日本電信電話株式会社）03.02.2022（2022-02-03） 全文、全図	1-8
A	US 2021/0203126 A1（PARKER J.）01.07.2021（2021-07-01） 全文、全図	1-8
☒ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 24.03.2023		国際調査報告の発送日 04.04.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 林 祥恵 2L 4085 電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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	OZAKI, J. et al., "Coherent Driver Modulator With Flexible Printed Circuit RF Interface for 128-Gbaud Operations", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 2022.12.01, Vol. 34, No. 23, pp. 1289-1292, 全文,全図 全文,全図	1-8
A	VANHOECKE, M. et al., "Segmented Optical Transmitter Comprising a CMOS Driver Array and an InP IQ-MZM for Advanced Modulation Formats", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2017.02.15, Vol. 35, No. 4, pp. 862-867, 全文,全図 全文,全図	1-8

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/004435

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2022/029855	A1	10.02.2022	CA 3190632 A1 [0032], [0071]-[0073], [0091]-[0093], FIGs. 5, 15	
WO	2011/132283	A1	27.10.2011	US 2013/0108204 A1 [0087], FIG. 5	
WO	2021/106158	A1	03.06.2021	US 2023/0010874 A1	
JP	2017-161830	A	14.09.2017	(ファミリーなし)	
WO	2022/024276	A1	03.02.2022	(ファミリーなし)	
US	2021/0203126	A1	01.07.2021	EP 3842857 A1 CN 113050304 A KR 10-2021-0084191 A SG 10202001278V A TW 202125844 A	