

(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12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号

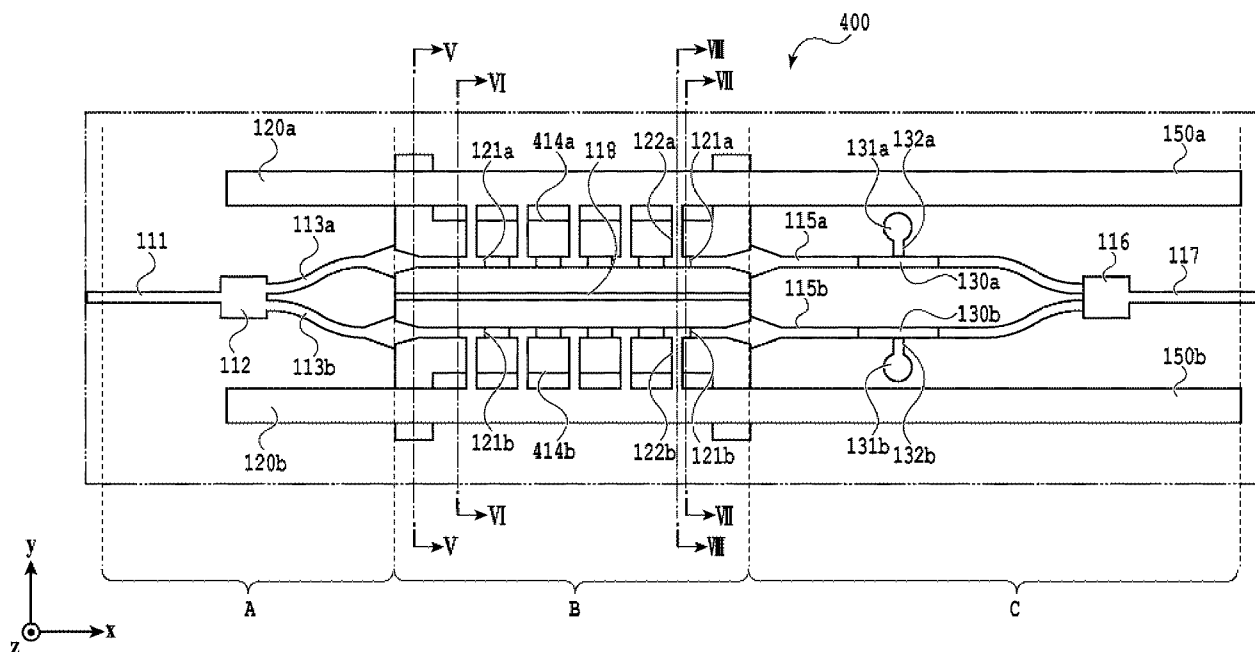
WO 2024/252534 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/01 (2006.01) G02B 6/125 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/021061
- (22) 国際出願日: 2023年6月6日(06.06.2023)
- (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: 橋詰 泰彰 (HASHIZUME Yasuaki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1

- 1 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 杉浦健太(SUGIURA Kenta); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 尾崎 常祐(OZAKI Josuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 NTT 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9-1 1 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 田中 拓也(TANAKA Takuya); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 NTT 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).

(54) Title: OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 光変調器



(57) Abstract: Provided is a high-speed optical modulator having excellent optical properties. The optical modulator comprises two arm optical waveguides connected to a demultiplexer (112), which has a high mesa type optical waveguide structure that is connected to a first high mesa type optical waveguide (111), and a multiplexer (116), which has a high mesa type optical waveguide structure that is connected to a second high mesa type optical waveguide (117). The arm optical waveguides are each provided with a high mesa type optical waveguide (113a, 113b), a rib type optical waveguide (414a, 414b), a high mesa type optical waveguide (115a, 115b), and an electrode (121a, 121b) disposed on the rib type optical waveguide. Each rib type optical waveguide (414a, 414b) includes a

WO 2024/252534 A1

(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, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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))

lower cladding layer (202), a core layer (204), and an upper cladding layer (205) in this order on a substrate (201). In a cross-section orthogonal to the propagation direction of light, the width of the upper cladding layer is less than the widths of the core layer and the lower cladding layer, and the widths of the core layer and the lower cladding layer include two or more widths, including a first width (W_{414n}) and a second width (W_{414w}) which is greater than the first width.

(57) 要約: 光学特性の優れた高速光変調器が提供される。光変調器は、第1のハイメサ型光導波路(111)と接続されたハイメサ型の光導波路構造を有する分波器(112)および第2のハイメサ型光導波路(117)と接続されたハイメサ型の光導波路構造を有する合波器(116)と接続された2つのアーム光導波路とを備え、各アーム光導波路は、ハイメサ型光導波路(113a, 113b)と、リブ型光導波路(414a, 414b)と、ハイメサ型光導波路(115a, 115b)と、リブ型光導波路の上に配置された電極(121a, 121b)と、を備える。リブ型光導波路(414a, 414b)は、基板(201)の上に順に、下部クラッド層(202)、コア層(204)、および上部クラッド層(205)を含み光の伝搬方向と直交した断面において、上部クラッド層の幅がコア層および下部クラッド層の幅より狭く、コア層および下部クラッド層の幅は、第1の幅(W_{414n})と第1の幅よりも広い第2の幅(W_{414w})を含む2種類以上の異なる幅を含む。

明 細 書

発明の名称：光変調器

技術分野

[0001] 本開示は、光変調器に関し、より詳細にはリブ型光導波路を用いた光変調器に関する。

背景技術

[0002] 光通信システムの大容量化に伴い、高度な光変調方式に対応した高速光変調器が求められている。特にデジタルコヒーレント技術を用いた多値光変調器は、100 Gbpsを超える大容量トランシーバ実現に大きな役割を果たしている。多値光変調器は、入力された光を2つのアーム光導波路に分波し、アーム光導波路を伝搬する光を変調して位相を整合させた後に合波して干渉出力するマッハツェンダ (Mach-Zehnder interferometer: MZ) 干渉型の光導波路 (MZ光導波路) で構成された、ゼロチャープ駆動が可能な光変調器 (以下、MZ modulator: MZMという) が並列多段に内蔵されている。このような構成により、光の振幅及び位相に、それぞれ独立の信号を付加させることができる。

[0003] 現在、通信網への普及が進んでいる代表的な偏波多重IQ光変調器は、親MZMの各アームのそれぞれが子MZMで構成された、いわゆる入れ子構造を有する。X、Yの偏波チャネルのそれぞれに対応して子MZMが2つ並列に設けられ、計4つの子MZMを有するMZM (Quad-parallel MZM) が構成される。各々の子MZMの2つのアームには、光導波路内を伝搬する光信号に変調動作を行うためのRF変調電気信号が入力される進行波型電極が設けられている。各偏波チャネルにおいて、このような対をなす2つの子MZMの一方がIチャネル、他方がQチャネルに対応する。

[0004] かかる偏波多重IQ光変調器は、子MZMのアーム光導波路に沿って設けられた変調電極の一端にRF変調電気信号を入力することにより、電気光学効果を生じさせて子MZMの光導波路内を伝搬する2つの光信号に位相変調

を施している（たとえば特許文献1参照）。

[0005] 図1に、偏波多重IQ光変調器における基本ユニットとなる子MZMに相当するマッハツェンダ干渉計を用いた高速位相変調器の一例を示す。初めに、高速位相変調器の構成について説明する。図1に示す高速位相変調器100において、1本のハイメサ型光導波路111が、ハイメサ型の光導波路構造をもつ1×2分波器112と接続されている。1×2分波器112は、2本のハイメサ型光導波路113a、113bと接続されている。ハイメサ型光導波路113a、113bは、リブ型光導波路114a、114bとそれぞれ接続されている。リブ型光導波路114a、114bは、ハイメサ型光導波路115a、115bとそれぞれ接続されている。2本のリブ型光導波路114a、114bは、分離溝118により、分離されている。ハイメサ型光導波路115a、115bは、ハイメサ型の光導波路構造をもつ2×1合波器116と接続されている。2×1合波器116は1本のハイメサ型光導波路117と接続されている。

[0006] ハイメサ型光導波路113a、113b、リブ型光導波路114a、114b、およびハイメサ型光導波路115a、115bは、1×2分波器112と2×1合波器116間を接続するアーム光導波路を構成する。高速位相変調器100において、光の伝搬方向（x方向）に延伸する2本の高周波線路120a、120bが、アーム光導波路に沿って形成されている。高周波線路120a、120bの端部は、終端抵抗150a、150bに接続されている。リブ型光導波路114a、114bの上方に、複数のスロット電極121a、121bがそれぞれ離散的に形成されており、電気光学効果により光に信号を付加する光変調器として機能する。複数のスロット電極121a、121bは、複数の接続電極122a、122bにより2本の高周波線路120a、120bとそれぞれ接続されている。ハイメサ型光導波路115a、115bは、上方に薄膜ヒータ130a、130bがそれぞれ装荷されており、熱光学位相器として機能する。薄膜ヒータ130a、130bは、配線132a、132bにより2つのパッド131a、131bとそれぞれ

れ接続されている。

[0007] 図1に示すように、高速位相変調器100は、ハイメサ型光導波路111、1×2分波器112、およびハイメサ型光導波路113a、113bを含む、ハイメサ型光導波路領域Aと、リブ型光導波路114a、114bを含む高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bと、ハイメサ型光導波路151、115b、2×1合波器116、およびハイメサ型光導波路117を含むハイメサ型光導波路領域Cとに区分することができる。2つの領域の境界において、各光導波路は、テーパ形状を有し、光の接続損失を抑制している。

[0008] 図2に、図1の断面線I-Iにおける断面を示す。図2を参照して、ハイメサ型光導波路113a、113bを説明する。ハイメサ型光導波路113a、113bは、半絶縁性InP基板201上に、n型InP下部クラッド層202、p型InP層203、i型MQW(Multi Quantum Well: 多重量子井戸)コア層204、および高抵抗(もしくはノンドープ)InP上部クラッド層205を積層した構造を有している。尚、高抵抗InP上部クラッド層205は、n型InP上部クラッド層をエッチングし再成長により置き換えたものである。高抵抗InP上部クラッド層205に置き換えることによって、光の伝搬損失を低減することができる。高抵抗InP上部クラッド層205とi型MQWコア層204の光の伝搬方向に直交する横方向(y方向)の幅W113は均一で数μm幅(例えば、2μm幅)である。ハイメサ型光導波路113a、113bの横方向(y方向)は有機膜(BCB: ベンゾシクロブテン)206で覆われており、i型MQWコア層204と有機膜206と間の大きな屈折率差によって横方向の光閉じ込めを実現している。

[0009] 図3に、図1の断面線I-I-I-Iにおける断面を示す。図3を参照して、リブ型光導波路114a、114bを説明する。リブ型光導波路114a、114bのInP半導体の層構造は、図2を参照して説明したハイメサ型光導波路113a、113bと類似であるが、上部クラッド層が異なる。図2のハイメサ型光導波路113a、113bの上部クラッド層は高抵抗(

もしくはノンドープ) InP上部クラッド層205であるのに対して、図3のリブ型光導波路114a、114bの上部クラッド層は、n型InP上部クラッド層305となっている点で異なる。図3のリブ型光導波路114a、114bは、上部クラッド層をn型InP上部クラッド層305とすることにより電氣的なコンタクトが得られ、i型MQWコア層204へ電界を印可することが可能となる。

[0010] また、n型InP上部クラッド層305の横方向(y方向)の幅(y方向)は、i型MQWコア層204およびp型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202のスラブ幅W114に比べて狭く構成されている。高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bにおいて、スラブ幅W114は均一である。これにより、リブ型光導波路114a、114bは、n型InP上部クラッド層305の幅に相当した横方向の閉じ込め効果によって光を閉じ込める。このリブ型光導波路114a、114bには、高速位相変調を行うために離散的にリブ型光導波路の上に金属のスロット電極121a、121bが装荷され電氣的なコンタクトをとっている。これにより、リブ型光導波路領域Bが高速位相変調を行う高速位相変調領域を兼ねるようにしている。高速位相変調領域Bにおけるアーム光導波路をリブ型光導波路とすることで、光が集中する領域にi型MQWコア層104のエッチングにより形成された側壁がないことから暗電流を抑制することができ、長期安定性の優れた高速位相変調器を実現することができる。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：国際公開第WO2021/049004A1号公報

発明の概要

[0012] 上述した高速位相変調器100は、高速変調領域Bにおいてリブ型光導波路114a、114bの高抵抗InP上部クラッド層305の幅を、i型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202のスラブ幅W114より狭くすることで、高抵抗InP上部クラッド

層305の幅に相当した横方向の閉じ込め効果によって光を閉じ込める。また、i型MQWコア層204およびp型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202のスラブ幅W114は、十分に広くすることによって、不要なモードが水平方向に広がり除去される効果が得られる。したがって、スラブ幅W114を広くすることが望ましい。

[0013] しかしながら、高速なRF変調電気信号を伝搬させる高周波線路120a、120bをリブ型光導波路114a、114bの近傍に配置する必要があり、i型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202のスラブ幅W114を十分に広くすることができない。高周波線路120a、120bの下部にi型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202が存在すると、インピーダンスが大きくなり、高周波線路120a、120bにおける高周波特性の劣化（たとえば高周波の伝搬損失の増大等）が生じてしまう。以上の理由により、従来は、スラブ幅W114は13 μ m程度に設計される。

[0014] リブ型光導波路114a、114bにおけるスラブ幅W114が13 μ mの時、ハイメサ型光導波路113a、113bとリブ型光導波路114a、114bとの接続箇所において伝搬する光のモード中心ずれ等によって高次モードへの結合が発生した場合、高次モードが励振される。励振された高次モードは、単峰性のモードフィールドではなく、複数の光強度ピークを持つモードフィールドであり、放射することなく、リブ型光導波路114a、114bのi型MQWコア層204内に留まり伝搬することになる。さらに高次モードは、リブ型光導波路114a、114bとハイメサ型光導波路115a、115bとの接続箇所において再結合してしまい、マッハツェンダ干渉計として消光しなくなる（消光比の劣化）といった問題が発生する。

[0015] 本開示は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、光学特性の優れた高速光変調器を提供することにある。

[0016] このような目的を達成するために、本開示の一実施形態にかかる光変調器は、第1のハイメサ型光導波路と、第1のハイメサ型光導波路と接続された

ハイメサ型の光導波路構造を有する分波器と、第2のハイメサ型光導波路と、第2のハイメサ型光導波路と接続されたハイメサ型の光導波路構造を有する合波器と、分波器および合波器と接続された2つのアーム光導波路と、を備え、2つのアーム光導波路の各々は、リブ型光導波路と、リブ型光導波路の上に配置された電極と、を備え、リブ型光導波路は、基板の上に順に、下部クラッド層、コア層、および上部クラッド層を含み、光の伝搬方向と直交した断面において、上部クラッド層の幅がコア層および下部クラッド層の幅より狭く、コア層および下部クラッド層の幅は、第1の幅と第1の幅よりも広い第2の幅を含む2種類以上の異なる幅を含む。

[0017] 以上説明したように、本開示の一実施形態によれば、光学特性の優れた高速光変調器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]従来の高速光変調器の上面図である。

[図2]図1の高速光変調器の断面線I-Iにおける断面図である。

[図3]図1の高速光変調器の断面線II-IIにおける断面図である。

[図4]本開示の一実施形態にかかる高速光変調器の上面図である。

[図5]図4の高速光変調器の断面線V-Vにおける断面図である。

[図6]図4の高速光変調器の断面線VI-VIにおける断面図である。

[図7]図4の高速光変調器の断面線VII-VIIにおける断面図である。

[図8]図4の高速光変調器の断面線VIII-VIIIにおける断面図である。

。

[図9]本開示の一実施形態にかかる高速光変調器の上面図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下に、図面を参照しながら本開示の実施形態にかかる光変調器を詳細に説明する。同一または類似の符号は、同一または類似の要素を示し、繰り返しの説明を省略する場合がある。以下の説明における数値および材料は例示であり、本開示の要旨を逸脱しない限り他の数値および材料で本開示にかかる光変調器を実施することができる。

[0020] (実施形態)

図4に、本開示の実施形態にかかる高速光変調器を示す。図4に示す高速光変調器400は、偏波多重IQ光変調器における基本ユニットとなる子MZMに相当するマッハツェンダ干渉計を用いた高速位相変調器である。高速光変調器400は、図1の高速位相変調器100と類似する点が多い。以下、高速光変調器400の高速位相変調器100と異なる点を中心に説明する。

[0021] 高速光変調器400は、図1の高速位相変調器100と同様に、ハイメサ型光導波路領域Aと、高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bと、ハイメサ型光導波路領域Cとに区分することができる。高速光変調器400におけるハイメサ型光導波路領域Aは、高速位相変調器100と同様に、ハイメサ型光導波路111、1×2分波器112、およびハイメサ型光導波路113a、113bを含む。高速光変調器400におけるハイメサ型光導波路領域Cは、高速位相変調器100と同様に、ハイメサ型光導波路115a、115b、2×1合波器116、およびハイメサ型光導波路117を含む。

[0022] 高速光変調器400の高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bは、ハイメサ型光導波路113a、113bおよびハイメサ型光導波路115a、115bとそれぞれ接続されたリブ型光導波路414a、414bを含む。2つの領域の境界において、各光導波路は、テーパ形状を有し、光の接続損失を抑制している。リブ型光導波路414a、414bの上方に、複数のスロット電極121a、121bがそれぞれ離散的に形成されており、電気光学効果により光に信号を付加する光変調器として機能する。複数のスロット電極121a、121bは、複数の接続電極122a、122bにより2本の高周波線路120a、120bとそれぞれ接続されている。2本の高周波線路120a、120bは、低損失でRF変調電気信号を伝搬させるために、非半導体材料である有機膜（たとえばBCB）206の上方にリブ型光導波路414a、414bと平行に形成されている。複数の接続電極122a、122bは、リブ型光導波路414a、414bに対して直角に形成されている。

- 。
- [0023] リブ型光導波路414a、414bのInP半導体の層構造は、図3を参照して説明したリブ型光導波路114a、114bのInP半導体の層構造と同様である。
- [0024] 図3を参照して上述したように、高速位相変調器100の高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bにおける、リブ型光導波路114a、114bの光の伝搬方向に直交する横方向（y方向）のスラブ幅W114は均一である。これに対して、本実施形態に係る高速光変調器400は、リブ型光導波路414a、414bの幅が、均一ではなく、不連続に変化する点で、高速位相変調器100と異なる。図5、および図6から図8を参照して後述するように、リブ型光導波路414a、414bの幅は、不連続に相対的に広いスラブ幅W414wと狭いスラブ幅W414nとの間で変化する。ここで「不連続に」とは、リブ型光導波路414a、414bの幅が、光の導波方向に沿って広いスラブ幅W414wと狭いスラブ幅W414nとの間で徐々にまたは滑らかに変化するものではないことを意図している。すなわち、「不連続に」とは、広いスラブ幅W414wから狭いスラブ幅W414nに急に変化することを意図している。
- [0025] 図5に、図4の断面線V-Vにおける断面を示す。ハイメサ型光導波路113a、113bとの接続位置を含むハイメサ型光導波路領域Aと高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bとの境界側の付近において、リブ型光導波路414a、414bは、広いスラブ幅W414wを有している。図4から理解されるように、ハイメサ型光導波路115a、115bと接続位置を含む高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bとハイメサ型光導波路領域Cとの境界側の付近において、リブ型光導波路414a、414bは、広いスラブ幅W414wを有している。広いスラブ幅W414wを有するリブ型光導波路414a、414bの部分においては、i型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202は、分離溝118から高周波線路120a、120bの下までの範囲に位置している。

- [0026] 図4の断面線V-Vの位置において、リブ型光導波路414a、414bの高抵抗n型InP上部クラッド層205の幅(y方向)は $2\mu\text{m}$ である。i型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202の広いスラブ幅 W_{414w} は $30\mu\text{m}$ である。広いスラブ幅 W_{414w} の光の伝搬方向(x方向)の長さは $100\mu\text{m}$ である。i型MQWコア層204の厚さは $0.5\mu\text{m}$ である。光の基本モードは高抵抗n型InP上部クラッド層205の $2\mu\text{m}$ 幅の中心に最大強度を有する単峰性のモードフィールドをもっている。
- [0027] 図6、7、8に、図4の断面線V1-V1、V11-V11、V111-V111における断面をそれぞれ示す。ハイメサ型光導波路領域A側およびハイメサ型光導波路領域C側の広いスラブ幅 W_{414w} を有するリブ型光導波路414a、414bの部分の間において、リブ型光導波路414a、414bは、広いスラブ幅 W_{414w} よりも狭いスラブ幅 W_{414n} を有している。
- [0028] 図6に示すように、スロット電極121a、121bが装荷されていないリブ型光導波路414a、414bの部分は、広いスラブ幅 W_{414w} よりも狭いスラブ幅 W_{414n} を有している。
- [0029] 図4の断面線V1-V1の位置においてリブ型光導波路414a、414bの高抵抗n型InP上部クラッド層205の幅(y方向)は $2\mu\text{m}$ である。i型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202の狭いスラブ幅 W_{414n} は $13\mu\text{m}$ であり、図4の断面線V-Vの位置(図5)の広い幅414($30\mu\text{m}$)より狭い。i型MQWコア層204の厚さは $0.5\mu\text{m}$ である。光の基本モードは高抵抗n型InP上部クラッド層205の $2\mu\text{m}$ 幅の中心に最大強度を有する単峰性のモードフィールドをもっている。
- [0030] 図7に示すように、スロット電極121a、121bが装荷されているリブ型光導波路414a、414bの部分は、広いスラブ幅 W_{414w} よりも狭いスラブ幅 W_{414n} を有している。

- [0031] また、図8に示すように、スロット電極121a、121bと高周波線路120a、120bとを接続する接続電極122a、122bが配置された位置において、リブ型光導波路414a、414bの部分は、広いスラブ幅 W_{414w} よりも狭いスラブ幅 W_{414n} を有している。
- [0032] 図4の断面線V1-V1、およびV11-V11の位置において、リブ型光導波路414a、414bのn型InP上部クラッド層305の幅(y方向)は $2\mu\text{m}$ である。i型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202の狭いスラブ幅 W_{414n} は $13\mu\text{m}$ であり、図4の断面線V-Vの位置(図5)の広い幅414($30\mu\text{m}$)より狭い。i型MQWコア層204の厚さは $0.5\mu\text{m}$ である。光の基本モードはn型InP上部クラッド層305の $2\mu\text{m}$ 幅の中心に最大強度を有する単峰性のモードフィールドをもっている。
- [0033] 上述したように、本実施形態では、ハイメサ型光導波路113a、113b、115a、115bとの接続位置を含む高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bとハイメサ型光導波路領域AおよびCとの境界側の付近の2箇所において、リブ型光導波路414a、414bは、広いスラブ幅 W_{414w} を有している。この理由を以下に説明する。
- [0034] ハイメサ型光導波路113a、113b、115a、115bとリブ型光導波路414a、414bとの2箇所の接続位置において、モードフィールドの中心ずれ等によって高次モードが励振するが、接続位置近傍のリブ型光導波路414a、414bにおける幅 W_{414n} を広くしておくことによって、励振された高次モードがコア層に留まって導波しなくなる。したがって、本実施形態のように2箇所の接続位置を含む高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bとハイメサ型光導波路領域AおよびCとの境界側の付近において、リブ型光導波路414a、414bの幅を広くすることが有効であるためである。
- [0035] また、高速変調領域兼リブ型光導波路領域B内のハイメサ型光導波路領域AおよびCとの境界側の付近に、スロット電極121a、121bを配置し

ないため、接続電極122a、122bを配置していない領域を確保できる。つまり、接続電極122a、122bの直下にはi型MQWコア層204、p型InP層203、n型InP下部クラッド層202を設けないことにしている。接続電極122a、122bにも高周波は流れるため、接続電極122a、122bの直下にi型MQWコア層204、p型InP層203、n型InP下部クラッド層202のような半導体を設けないことで高周波特性の劣化を最小限としている。

[0036] (変形形態)

上記のことから理解されるように、接続電極122a、122bが設置される位置を避けて、光の伝搬方向に配列された複数の接続電極122a、122bの間において、リブ型光導波路414a、414bの幅を広げることで、高次モードの除去率を高めるとともに、高周波特性の劣化を限定的とする構成も有効である。

[0037] 図9に、図4の高速光変調器400の変形形態に係る高速光変調器900を示す。図9に示す高速光変調器900の高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bは、ハイメサ型光導波路113a、113bおよびハイメサ型光導波路115a、115bとそれぞれ接続されたリブ型光導波路914a、914bを含む。図4の高速光変調器400と同様に、2つの領域の境界において、各光導波路は、テーパ形状を有し、光の接続損失を抑制している。リブ型光導波路914a、914bの上方に、複数のスロット電極121a、121bがそれぞれ離散的に形成されており、電気光学効果により光に信号を付加する光変調器として機能する。複数のスロット電極121a、121bは、複数の接続電極122a、122bにより2本の高周波線路120a、120bとそれぞれ接続されている。2本の高周波線路120a、120bは、低損失でRF変調電気信号を伝搬させるために、非半導体材料である有機膜(たとえばBCB)206の上方にリブ型光導波路914a、914bと平行に形成されている。複数の接続電極122a、122bは、リブ型光導波路414a、414bに対して直角に形成されている。

- [0038] リブ型光導波路414a、414bのInP半導体の層構造は、図3を参照して説明したリブ型光導波路114a、114bのInP半導体の層構造と同様である。
- [0039] 図9に示す高速光変調器900において、リブ型光導波路914a、914bは、ハイメサ型光導波路113a、113bと接続位置を含むハイメサ型光導波路領域Aと高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bとの境界側の付近に加えて、高速変調領域兼リブ型光導波路領域B内の光の伝搬方向に配列された複数の接続電極122a、122bの間にも、広い幅を有している。
- [0040] 以上において説明したように本開示の高速光変調器では、高速変調領域兼リブ型光導波路領域Bにおけるリブ型光導波路の一部を広い幅（たとえば $30\mu\text{m}$ ）とし、残りの部分を狭い幅（たとえば $13\mu\text{m}$ ）としている。幅が異なるスラブ導波路が縦列に接続されたのと同様の構成となる。光導波路におけるコアの幅が $13\mu\text{m}$ のときの高次モードとコアの幅が $30\mu\text{m}$ のときの高次モードでは、高次モードの形状や実効屈折率が異なるため、スラブ導波路の接続箇所にてモード不整合が発生し損失となる。一方、主モードとなる基本モードは、約 $2\mu\text{m}$ の上部クラッド幅程度に閉じ込められるため、 $13\mu\text{m}$ や $30\mu\text{m}$ といったスラブ導波路の幅を感じることなく伝搬するため、影響は少ない。この結果、高次モードのみが除去され、消光比劣化が抑制される。
- [0041] 尚、図5に示すように、リブ型光導波路414a、414bと平行な高周波線路120a、120bの下方にi型MQWコア層204、p型InP層203、およびn型InP下部クラッド層202が形成されると高周波特性劣化する。しかしながら、本実施形態にかかる光変調器400では、広いスラブ幅 W_{414w} を有するリブ型光導波路414a、414bの光の伝搬方向（x方向）の長さは短く（たとえば $100\mu\text{m}$ ）であり、高周波特性の劣化も限定的である。
- [0042] なお、本開示の実施態様では、リブ型光導波路414a、414bが2種類の幅（ W_{414w} と W_{414n} ）を有する例を示したが、リブ型光導波路

4 1 4 a、4 1 4 bが3種類以上幅を有していても同等の効果があることはいうまでもない。

産業上の利用可能性

[0043] 本開示の一実施形態によれば、光学特性の優れた高速光変調器を提供することができる。

符号の説明

- [0044] 1 0 0 高速位相変調器
1 1 1 ハイメサ型光導波路
1 1 2 1×2分波器
1 1 3 a、1 1 3 b ハイメサ型光導波路
1 1 4 a、1 1 4 b、4 1 4 a、4 1 4 b、9 1 4 a、9 1 4 b リブ型光導波路
1 1 5 a、1 1 5 b ハイメサ型光導波路
1 1 6 2×1合波器
1 1 7 ハイメサ型光導波路
1 1 8 分離溝
1 2 0 a、1 2 0 b 高周波線路
1 2 1 a、1 2 1 b スロット電極
1 2 2 a、1 2 2 b 接続電極
1 3 0 a、1 3 0 b 薄膜ヒータ
1 3 1 a、1 3 1 b パッド
1 3 2 a、1 3 2 b 配線
1 5 0 a、1 5 0 b 終端抵抗
2 0 1 半絶縁性 I n P 基板
2 0 2 n型 I n P 下部クラッド層
2 0 3 p型 I n P 層
2 0 4 i型 MQW コア層
2 0 5 高抵抗 I n P 上部クラッド層

- 206 有機膜 (BCB)
- 305 高抵抗 InP 上部クラッド層
- 400、900 高速光変調器

請求の範囲

[請求項1]

第1のハイメサ型光導波路と、
前記第1のハイメサ型光導波路と接続されたハイメサ型の光導波路構造を有する分波器と、
第2のハイメサ型光導波路と、
前記第2のハイメサ型光導波路と接続されたハイメサ型の光導波路構造を有する合波器と、
前記分波器および前記合波器と接続された2つのアーム光導波路と、
を備えた光変調器であって、
前記2つのアーム光導波路の各々は、
リブ型光導波路と、
前記リブ型光導波路の上に配置された電極と、
を備え、
前記リブ型光導波路は、
基板の上に順に、下部クラッド層、コア層、および上部クラッド層を含み、
光の伝搬方向と直交した断面において、前記上部クラッド層の幅が前記コア層および前記下部クラッド層の幅より狭く、
前記コア層および前記下部クラッド層の幅は、第1の幅と前記第1の幅よりも広い第2の幅を含む2種類以上の異なる幅を含む、光変調器。

[請求項2]

前記リブ型光導波路に平行に配置された高周波線路をさらに備え、
前記光の伝搬方向と直交した断面において、前記第2の幅を有する前記コア層および前記下部クラッド層は、前記高周波線路と前記基板の間に配置されている、請求項1に記載の光変調器。

[請求項3]

前記2つのアーム光導波路の各々は、
前記分波器および前記リブ型光導波路と接続された第3のハイメ

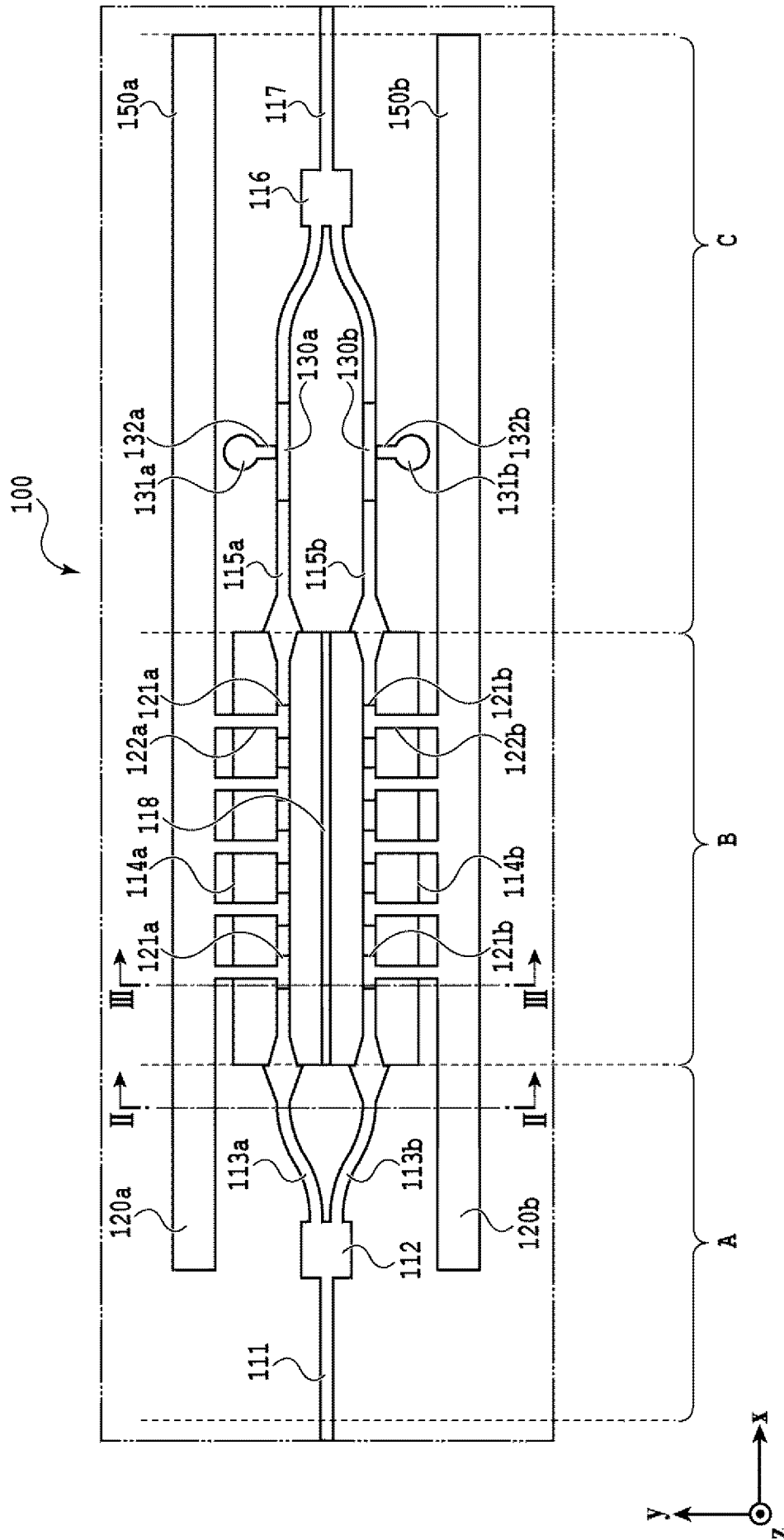
サ型光導波路と、

リブ型光導波路および前記合波器と接続された第4のハイメサ型光導波路と、

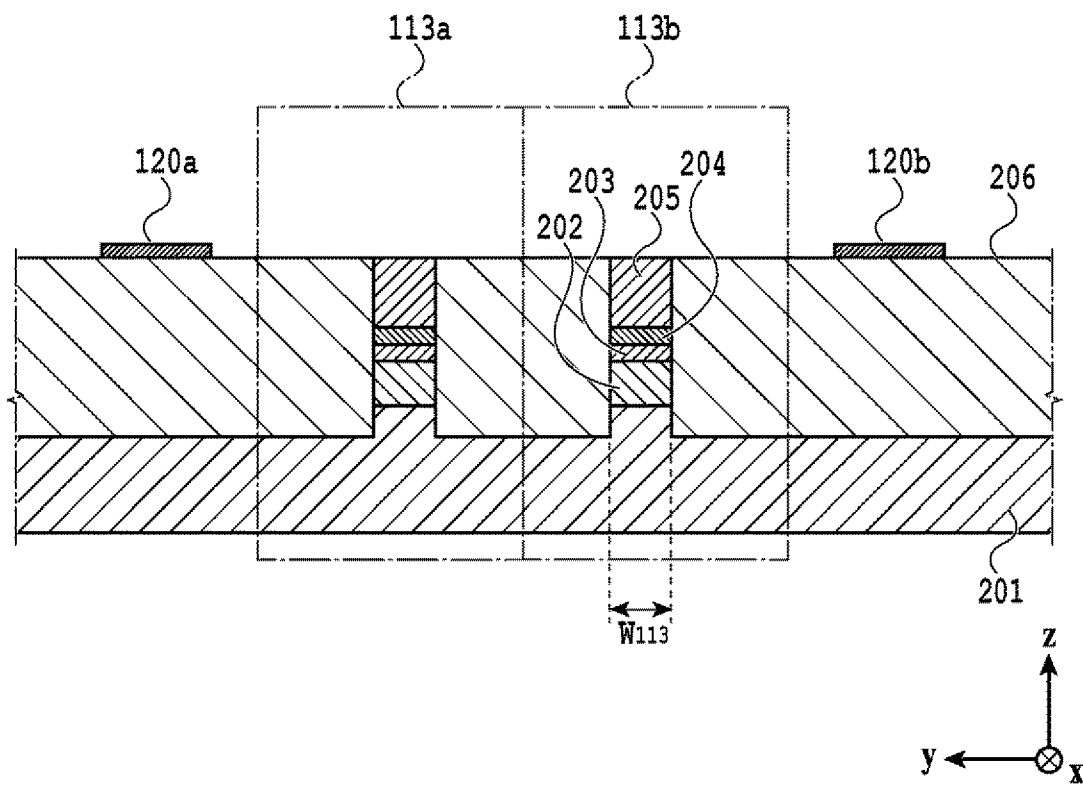
をさらに備え、

前記第2の幅を有する前記コア層および前記下部クラッド層は、前記リブ型光導波路と前記第3のハイメサ型光導波路との接続位置の近傍、および前記リブ型光導波路と前記第4のハイメサ型光導波路との接続位置の近傍に配置されている、請求項1または2に記載の光変調器。

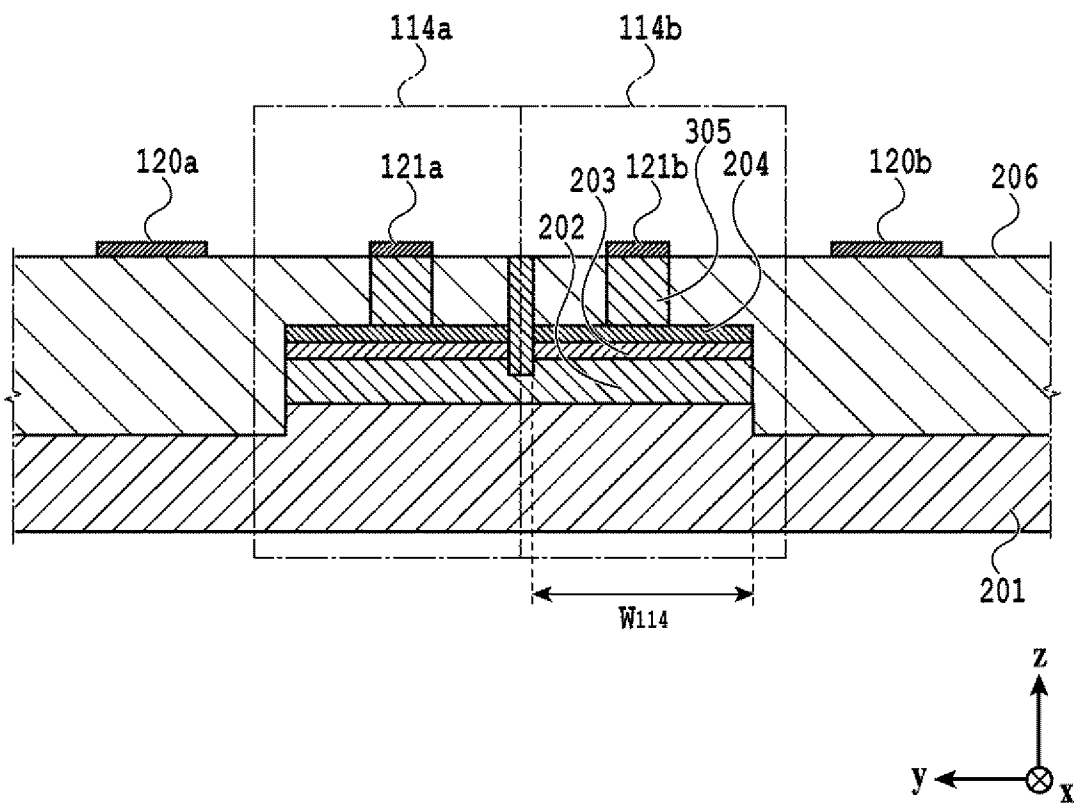
[図1]



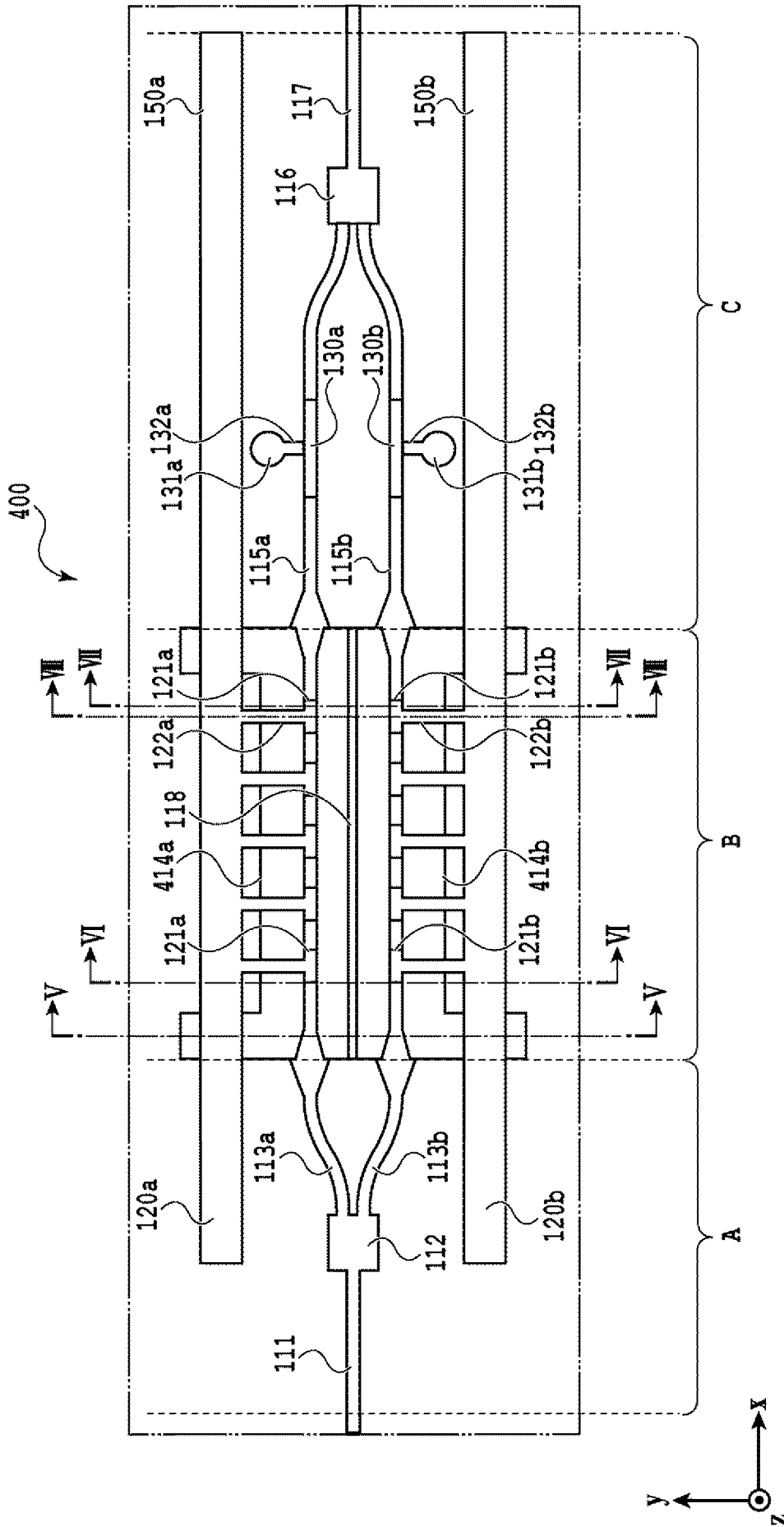
[図2]



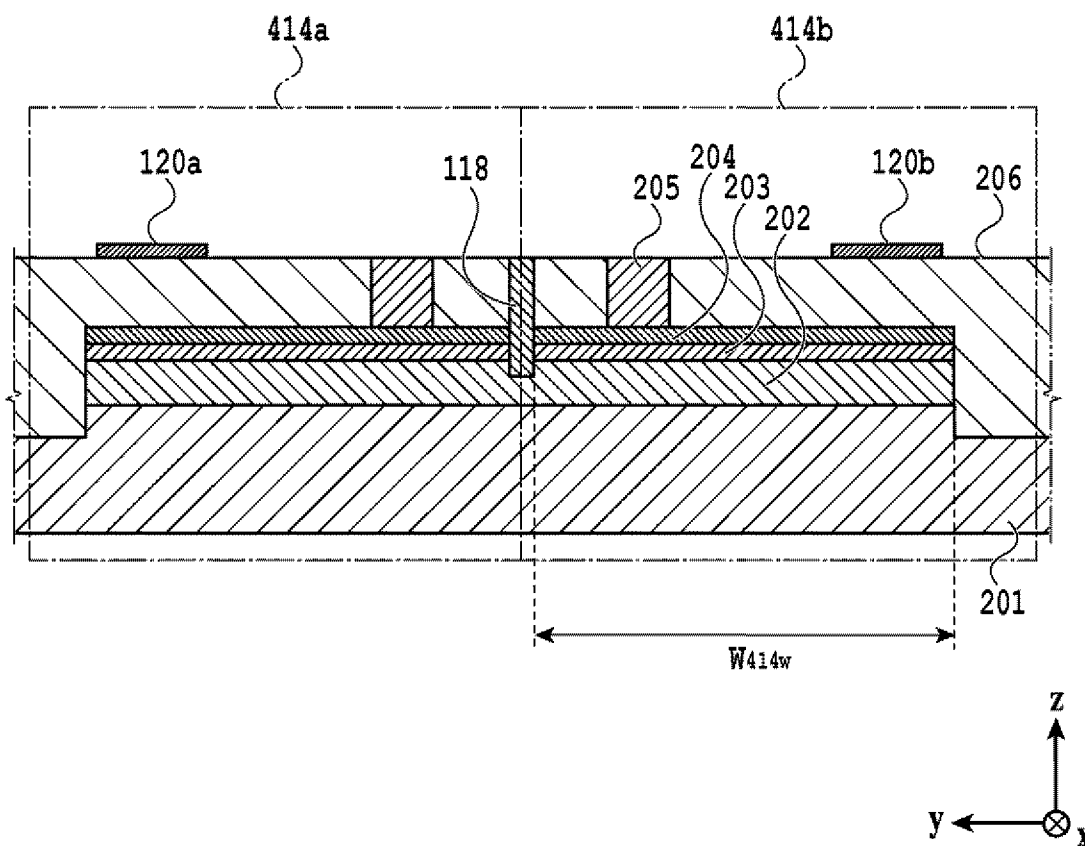
[図3]



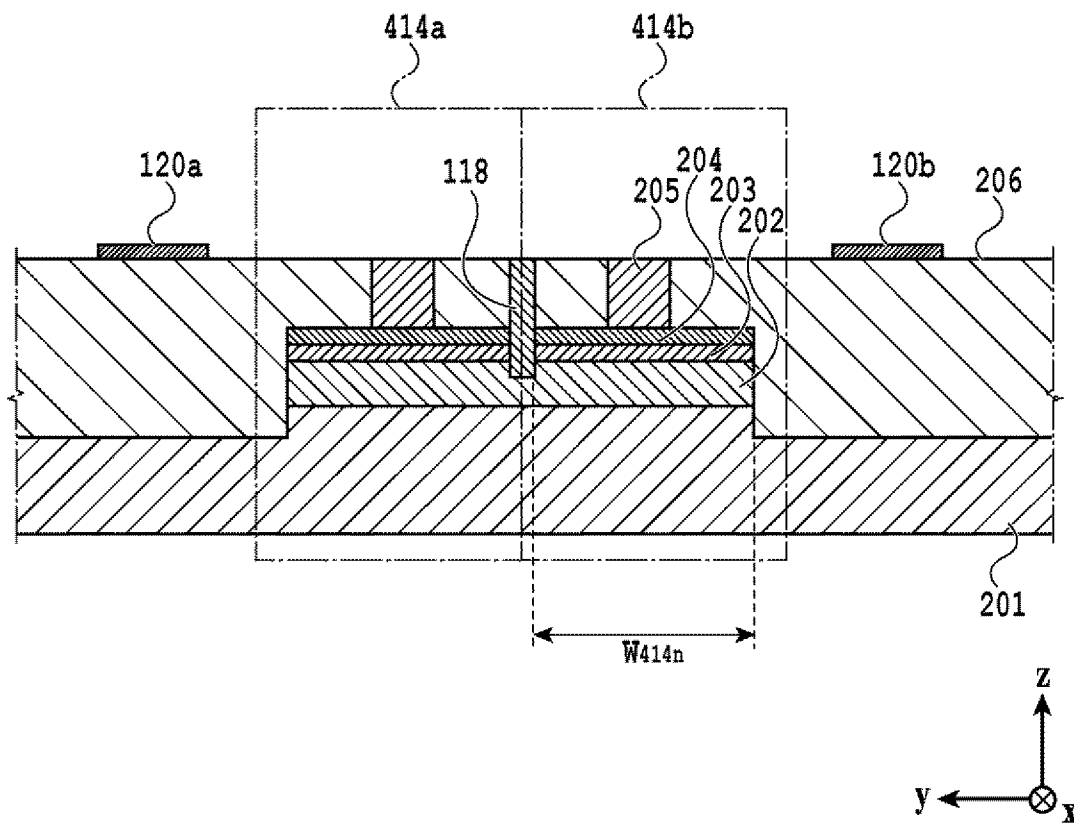
[図4]



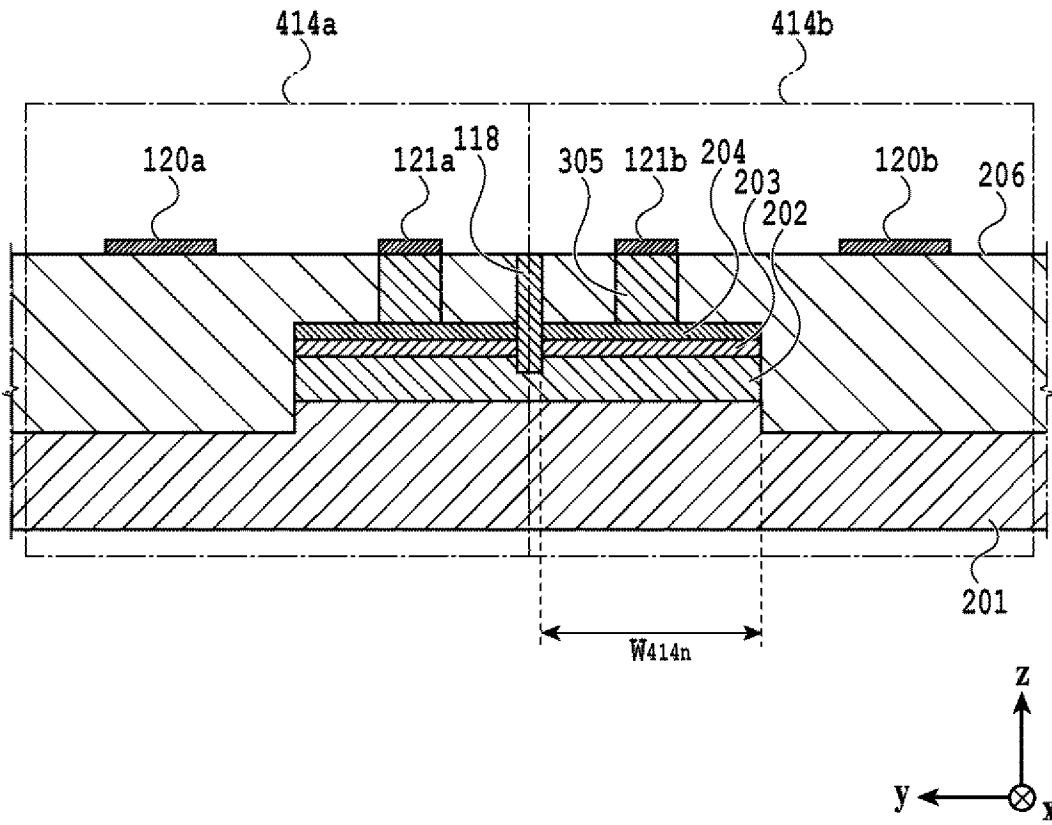
[図5]



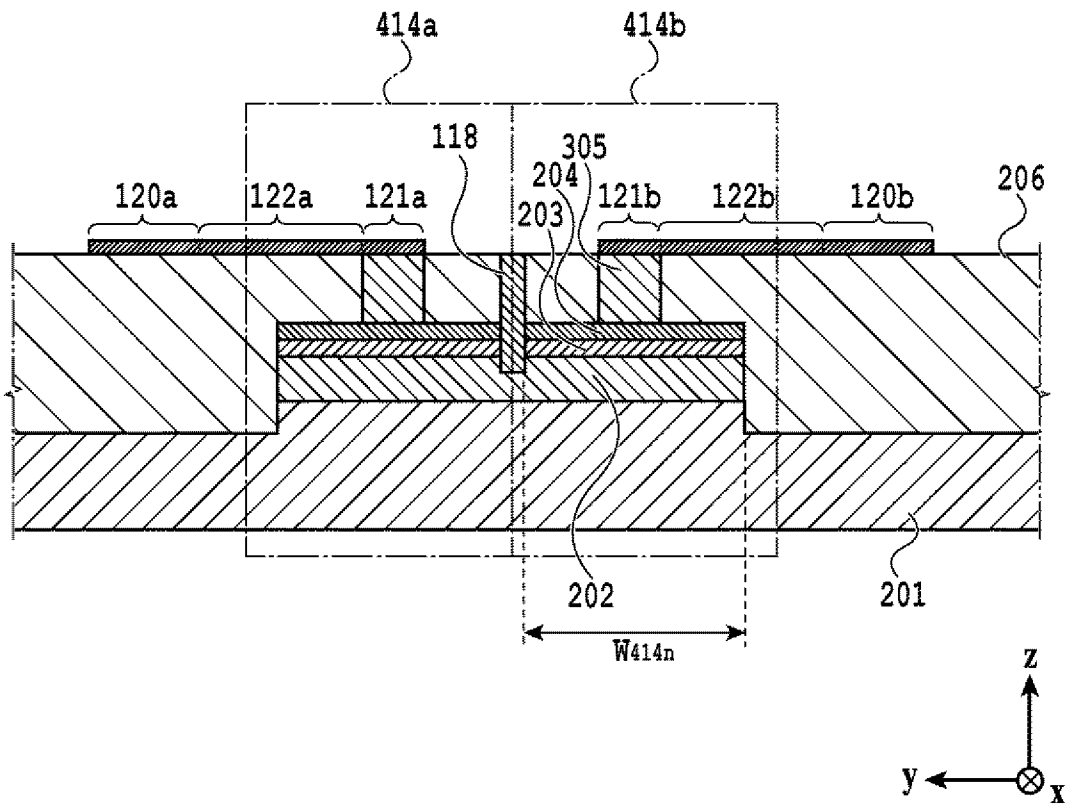
[図6]



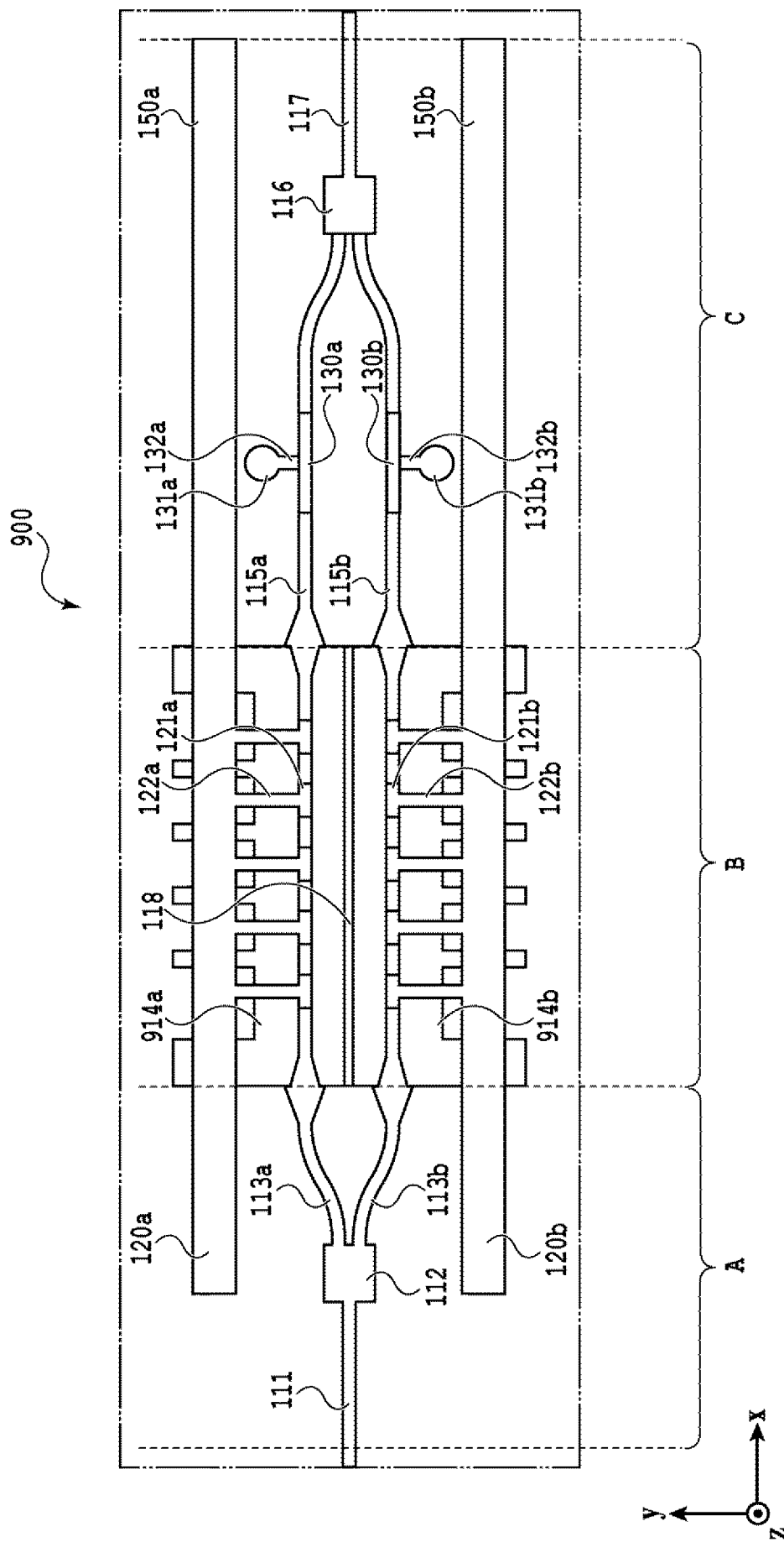
[図7]



[図8]



[9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/021061

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02F 1/01</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/12</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/125</i> (2006.01)i FI: G02F1/01 C; G02B6/12 361; G02B6/125 301		
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) G02F1/01; G02B6/12; G02B6/125		
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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2019/211991 A1 (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 07 November 2019 (2019-11-07) paragraphs [0014], [0020]-[0021], [0028]-[0036], fig. 5	1-2
A		3
Y	WO 2010/100946 A1 (NEC CORP.) 10 September 2010 (2010-09-10) paragraphs [0028]-[0036], fig. 1-2	1-2
A		3
A	JP 6-3708 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 14 January 1994 (1994-01-14) entire text, all drawings	1-3
A	WO 2019/156189 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 15 August 2019 (2019-08-15) entire text, all drawings	1-3
A	US 2003/0039447 A1 (CLAPP, T. V.) 27 February 2003 (2003-02-27) entire text, all drawings	1-3
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 09 August 2023		Date of mailing of the international search report 22 August 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
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2023/021061

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2019/211991 A1	07 November 2019	US 2021/0232016 A1 paragraphs [0014], [0028]- [0029], [0036]-[0045], fig. 5 JP 2019-194637 A	
WO 2010/100946 A1	10 September 2010	US 2011/0317956 A1 paragraphs [0059]-[0067], fig. 1-2	
JP 6-3708 A	14 January 1994	(Family: none)	
WO 2019/156189 A1	15 August 2019	US 2020/0363664 A1 entire text, all drawings CN 111684342 A	
US 2003/0039447 A1	27 February 2003	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/01(2006.01)i; G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/125(2006.01)i FI: G02F1/01 C; G02B6/12 361; G02B6/125 301		
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）） G02F1/01; G02B6/12; G02B6/125 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）		
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
Y A	WO 2019/211991 A1（日本電信電話株式会社）07.11.2019（2019-11-07） 段落[0014],[0020]-[0021],[0028]-[0036], 図5	1-2 3
Y A	WO 2010/100946 A1（日本電気株式会社）10.09.2010（2010-09-10） 段落[0028]-[0036], 図1-2	1-2 3
A	JP 6-3708 A（日本電信電話株式会社）14.01.1994（1994-01-14） 全文, 全図	1-3
A	WO 2019/156189 A1（古河電気工業株式会社）15.08.2019（2019-08-15） 全文, 全図	1-3
A	US 2003/0039447 A1（CLAPP, Terry V.）27.02.2003（2003-02-27） 全文, 全図	1-3
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 09.08.2023	国際調査報告の発送日 22.08.2023	
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） 堀部 修平 2L 9215 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

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/JP2023/021061

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2019/211991	A1	07.11.2019	US	2021/0232016	A1	段落[0014],[0028]-[0029], [0036]-[0045], 図5
				JP	2019-194637	A	
WO	2010/100946	A1	10.09.2010	US	2011/0317956	A1	段落[0059]-[0067], 図1-2
JP	6-3708	A	14.01.1994	(ファミリーなし)			
WO	2019/156189	A1	15.08.2019	US	2020/0363664	A1	全文, 全図
				CN	111684342	A	
US	2003/0039447	A1	27.02.2003	(ファミリーなし)			