

(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
2023年11月16日(16.11.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/218533 A1

(51) 国際特許分類:

G02F 1/025 (2006.01) G02B 6/12 (2006.01)
G01M 11/00 (2006.01) G02B 6/125 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/019836

(22) 国際出願日: 2022年5月10日(10.05.2022)

(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: 那須 悠介(NASU Yusuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的

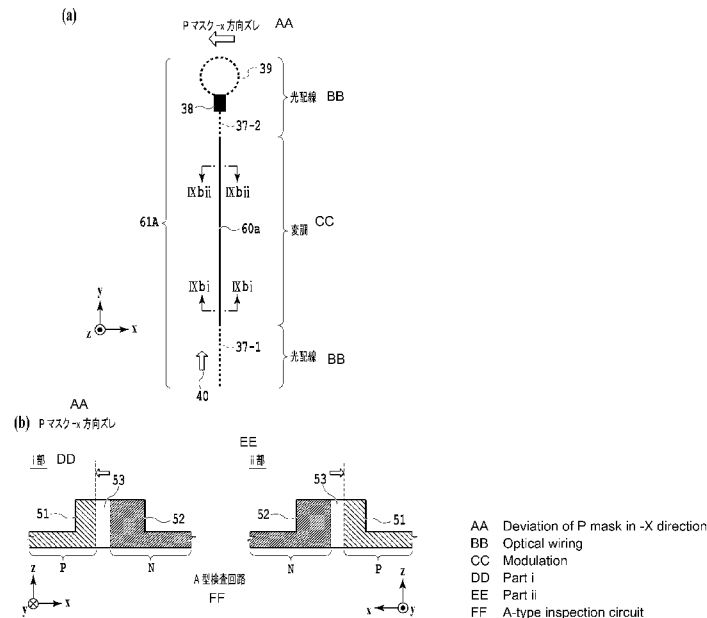
財産センタ内 Tokyo (JP). 伊熊 雄一郎(IKUMA Yuichiro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 雛倉 陽介(HINAKURA Yosuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 亀井 新(KAMEI Shin); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 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,

(54) Title: OPTICAL CIRCUIT

(54) 発明の名称: 光回路



(57) Abstract: Disclosed is an inspection circuit that accurately reflects the influence of a manufacturing error caused in a modulator of an optical circuit during a manufacturing process of the optical circuit, and also achieves size reduction. An inspection circuit (61A) is provided with an inspection waveguide (60a) having a length that is half the length of an arm waveguide of the optical circuit, has a configuration in which test light (40) propagates in two directions on the inspection waveguide, and achieves reproduction of a characteristic equivalent to that of a modulator of the optical circuit.

CO, CR, CU, 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, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, 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, 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))

In order to propagate the test light (40) in two direction on the inspection waveguide (60a) in the inspection circuit (61A), a looped path (39) configured between branch ports of optical branching (38) is used. An embodiment having a different configuration is disclosed by an aspect in which two branched light beams of the test light (40) are guided to the inspection waveguide (60a). The length of the inspection waveguide (60a) can be reduced at an arbitrarily defined ratio with respect to the arm waveguide of the optical circuit.

(57) 要約: 光回路の製造工程において本回路の変調器に生じる製造誤差の影響を正確に反映させると同時に、小型化を実現した検査回路が開示される。検査回路(61A)は、本回路のアーム導波路の半分の長さの検査導波路(60a)を備え、試験光(40)が検査導波路上の2つの方向を伝搬する構成とし、本回路の変調器と同等の特性の再現を実現する。検査回路(61A)における検査導波路(60a)の2つの方向に試験光(40)を伝搬させるために、光分岐(38)の分岐ポート間に構成されたループ状の経路(39)を利用する。試験光(40)の2つの分岐光を検査導波路(60a)に導く態様によって、異なる構成の実施形態が開示される。検査導波路(60a)の長さを本回路のアーム導波路に対して任意の比率で短縮することもできる。

明 細 書

発明の名称：光回路

技術分野

[0001] 本発明は、シリコンフォトニクス光回路、より詳細には光回路の検査回路に関する。

背景技術

[0002] 光通信システムの進展と共に、システムを構成する様々な光学部品は集積型の光回路により実現され、システムの小型化、経済化、大容量化に寄与してきた。光回路では、広く半導体として使用されているシリコン（Si）をコア材料とする、Siフォトニクスが注目され、研究開発が盛んに行われている。Siフォトニクス光回路は、これまでの光回路に比べ大幅に回路を小型化できる。Siの屈折率が非常に大きいため、低屈折率材料をベースに開発されてきたこれまでの光回路に比べ、光の閉じ込めが強く、小さな曲げ半径で導波路を構成できる。光カプラ、合波器、フィルタ、変調器、光受信器など、様々な回路要素をそれぞれ小型化し、これらを1つのチップに集積して、非常に小型な光回路を実現できる。

[0003] Siフォトニクス光回路は、様々な回路要素を集積することで光送受信器等の所望の機能を実現できる。Siフォトニクス光回路を実際に使用するためには、Siフォトニクスチップを光モジュールにパッケージングし、光や電気信号の入出力端子を構成する。光モジュールの状態で、伝送装置等に組み込むことで、効率的に光通信システムを構築し運用することが可能となる。

[0004] Siフォトニクスチップが組み込まれた光モジュールを、低コストで製造するためには、光モジュールの完成前の途中工程で、チップ性能の適切な特性検査することが重要である。光モジュールの最終的な性能歩留まりを確保するためには、性能を満たすSiフォトニクスチップを選別し、良品のみをモジュール化することが特に重要である。

[0005] 同じSiを使い電気回路のみを有するCMOS回路等では、汎用のウェハ検査技術を活用でき、ウェハ状態での良品選別は簡便である。CMOS回路等の検査に比べ、Siフォトリソ光回路の検査は光および電気信号の両方を使って実施される。このため、Siフォトリソ光回路の検査は非常に煩雑であり、特許文献1に示されているように装置コストや検査時間の点でコスト増大つながる。

[0006] Siフォトリソチップの検査を簡易化するために、チップ内のSiフォトリソ光回路のすべてを検査せず、Siフォトリソ光回路を構成する回路要素のみを検査する方法がある。Siフォトリソチップ内の、実際に使用されることになるSiフォトリソ光回路である本回路の脇に、本回路内で使用されるのと同じの回路要素を集積する。本回路の検査するためには、本回路を動作させる光または電気信号を同時に駆動する必要がある。一方、回路要素のみの検査であれば、駆動する光または電気信号の数が各段に少なくなる。本回路に代えて回路要素のみを検査し、本回路全体の特性を推定して性能の合否判定を行うことで、より低コストで、Siフォトリソチップの検査が可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2019-96763号 明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、本回路の他に検査用の回路要素を設けることは、チップ面積の増大につながる。特に大きな面積を占める変調器において発生する製造誤差による特性劣化量を正確に再現し、同時に光回路を小型化することは、未だ実現されていなかった。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の1つの態様は、シリコン基板に形成された光回路において、断面

においてPN接合が形成された2本のアーム導波路を含むマッハツェンダ干渉計型の変調器と、前記変調器の検査回路であって、試験光を入力する、矩形導波路を含む入力部、前記矩形導波路に接続され、前記2本のアーム導波路と平行に、少なくとも一方の前記アーム導波路と同一構成のPN接合を有する少なくとも1つの検査導波路、および、矩形導波路で構成され、前記試験光を等しい強度に分岐し、2つの分岐光を前記検査導波路へ互いに逆方向に伝搬させる光分岐を含む検査回路とを備えた光回路である。

発明の効果

[0010] 本発明の光回路により、変調器を含む本回路の製造誤差を正確に反映し、小型化を実現する検査回路を提供する。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1] Siフォトニクスチップを含む光モジュール構成を示す図である。
- [図2] 変調器の検査回路を含むSiフォトニクスチップ構成を示す図である。
- [図3] 変調器の他の光回路を含むSiフォトニクスチップ構成を示す図である。
- 。
- [図4] 一般的なマッハツェンダ干渉計型変調器の構成を示す図である。
- [図5] 2本のアーム導波路における導波路の断面構造を示す図である。
- [図6] 変調器を含む光回路における従来技術の検査回路の構成を示す図である。
- 。
- [図7] 変調器を含む光回路における別の検査回路の構成を示す図である。
- [図8] ジグザグ状の変調用導波路におけるマスクずれ態様を説明する図である。
- 。
- [図9] 変調器を含む実施形態1の光回路の検査回路の構成を示す図である。
- [図10] 実施形態1の検査回路における光分岐の構成を示す図である。
- [図11] 変調器を含む実施形態2の光回路の検査回路の構成を示す図である。
- [図12] 変調器を含む実施形態3の光回路の検査回路の構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 本開示の光回路は、シリコン基板上に形成された変調器を含む光回路にお

いて、製造誤差を正確に反映させる新規な構成の検査回路を提供する。光回路の製造工程において本回路の変調器に生じる製造誤差の影響を正確に反映させると同時に、小型化を実現した検査回路が開示される。以下の説明では、まず、従来技術のS i フォトニクスチップにおける検査回路の構成とその問題点を説明する。次に、本開示の光回路における検査回路の構成および動作を説明する。

[0013] 図1は、S i フォトニクスチップを含む光モジュールの構成を示す図である。光モジュール100は、複数の光変調器11を含むS i フォトニクスチップ10を備えている。S i フォトニクスチップ10は、電気入出力用配線15によって、電気信号17を外部との間でインタフェースする。また、光ファイバアセンブリ12で固定した光ファイバ13によって、光を外部との間でインタフェースする。チップ10内の光回路としては、入力導波路14に並列に接続された4つの光変調器11と、出力導波路16が含まれているが、図1の構成は光回路の一例に過ぎない。以下で説明するS i フォトニクスチップ10は、少なくとも1つの光変調器11が含まれているものとする。光モジュール100の製造工程では、電気入出力用配線15、光ファイバアセンブリ12の入出力インタフェースを用いて簡単に検査も可能である。

[0014] 図2は、変調器の検査回路を含むS i フォトニクスチップの構成を示す図である。以下の説明では、簡単のため、S i フォトニクスチップ10をS i チップ10と呼ぶ。S i チップ10は、図1で説明した4つの光変調器11を含み、光モジュール内に搭載された後で、実際に使用されることになる本回路10-1である。S i チップ10は、本回路10-1の4つの光変調器(M o d) 11に加えて、検査回路20を含んでいる。

[0015] 前述のように、光モジュール100に組み込む前の、S i チップ10単体では、図1に示したような構成と同様に本回路10-1の検査を実施するのは難しい。そこで、検査回路としてS i チップ10内に変調器用の検査用変調器(T e s t M o d) 21を設け、本回路10-1の光変調器11に代えて、この検査用変調器21を評価することで本回路の性能予測が可能となる

。

[0016] 図3は、変調器の他の光回路を含むS i フォトニクスチップの構成を示す図である。図3の本回路10-1に示したように、S i フォトニクス回路ではその用途によって、他の機能を実施する光回路14を含み、より複雑な構成であり得る。このような場合でも、検査回路20の検査用変調器21に加えて、本回路10-1に使用している光回路14に対応する要素回路22を備えることができる。図2および図3に示したように検査回路20内のT e s t M o d 2 1、要素回路22を評価して、本回路10-1の性能を予測することにより、実用的なS i チップの検査が可能となる。

[0017] しかしながら、本回路10-1に加えて、S i チップ内に検査用の各種回路要素を設けることは、チップサイズの増大につながる。S i フォトニクス回路において利用されている光回路の中で、非常に大きな面積を占めるのが、光変調器11である。検査回路20の内のT e s t M o d 2 1も大きな面積を占めることになる。

[0018] 図4は、一般的なマッハツェンダ干渉計変調器の構成を示す図である。図4の(a)は、S i 基板上に作製されたマッハツェンダ干渉計(Mach-Zehnder interferometer: MZ I)光変調器の上面図(x-y面)を示し、図4の(b)は導波路部分の断面図(x-z面)を示している。光導波路MZ I型変調器11は、2つの結合器32、33と、その間を連結する2本のアーム導波路35a、35bから成る。入力側の結合器32へ入力された光は、分岐されて2本のアーム導波路をy軸方向に伝搬し、出力側の結合器33で合波される。2つの結合器32、33は、光を分岐/合波して光を配分する機能を持つため、光配線部30-1、30-2とも言う。アーム導波路35a、35bは、電気信号による変調を行うため変調用導波路で構成され、変調部31として機能する。光導波路MZ I型変調器11はS i フォトニクスで広く利用され、以下では、簡単に変調器と呼ぶことにする。

[0019] 図4の(b)は各導波路の長さ方向に垂直な断面を示しており、変調器11は2種類の形態の光導波路から構成される。入力側の結合器32および出

力側の結合器 33 としては、それぞれ例えば Y 分岐回路が利用される。アーム導波路から／アーム導波路へ光を分配するため光配線の機能を持っており、一般的に矩形導波路を用いる。図 4 の (b) の右側の図は、例えば入力側の結合器 32 の矩形導波路の断面を示しており、クラッドとして動作する基板 50 上に、リッジ状の矩形導波路 (コア) 32 が形成されている。光を 2 分岐する結合器 32、2 つの光を合波する結合器 33 のいずれの部分も矩形導波路によって構成される。

[0020] 2 本のアーム導波路 35 a、35 b は、それぞれ変調用導波路として構成され、電気信号の情報を光信号に変換するため、リブ型導波路等の特殊な形態が用いられる。図 4 の (b) の左側の図は、変調用のアーム導波路 35 a であるリブ型導波路の断面を示している。段差構造を持つリブ部分の x 方向の中心を境界として異なる不純物ドーピングがされており、一方が P 型領域 51、他方が N 型領域 52 となっている。外部から 2 つの領域に逆バイアス電圧を掛け、境界の近傍で P N 接合の空乏層容量を変化させることで、コアの屈折率を変調する。電気信号によるコアの屈折率変調によって 2 本のアーム導波路を伝搬する光の位相差が変化し、結合器 33 で合波されるときに干渉状態を電気信号に応じて変化させる。

[0021] 光変調器 11 は、電気信号で駆動される変調用導波路に加えて、矩形導波路の位相シフタ 34 a、34 b も備える。変調部 31 のリブ型導波路で位相変調された光を、位相シフタ 34 a、34 b を用いて適切な干渉状態に調整することで、所望の変調光が得られる。

[0022] 図 4 の (b) の断面図で示したように、変調部 31 で変調を行うアーム導波路は、コア断面で 2 つのドーピング領域により P N 接合が形成されている点で、光配線を行う結合器 32、33 における矩形導波路と構成が大きく異なっている。

[0023] 図 4 の (a) に示した変調器 11 では、設計条件によって、変調器の全体長さは一般的に数 100 μm から数 mm となる。このため、検査回路として図 4 の (a) と同一構造の変調器をチップ内に設ければ、チップ面積を大

幅に大きくしてしまう。変調器における光損失の検査のためには、変調用導波路の損失を正確に再現することが重要である。後述するような製造バラツキ等が発生し、本回路内の変調器の特性が劣化した場合、その劣化を正確に検査回路においても再現する必要がある。

[0024] 図4の(a)、(b)に示した変調器11では、リブ型構造を持った変調用のアーム導波路の損失が変調器特性に大きく影響する。従って変調器の検査においては、2種類のドーピング領域によりPN接合が形成される変調用のアーム導波路の損失評価を、如何に正確に行うかが重要である。

[0025] 図5は、2本のアーム導波路における導波路の断面構造を示す図である。図5の(a)はマスクずれのない場合の断面構造を、(b)はP型領域を生成するためのマスクが x 方向にずれた場合の断面構造を示している。図4の(a)でも示したように、変調器11は2本のアーム導波路35a、35bを備えており、以下の説明では、2本を区別するために光伝搬方向の左側をA導波路、右側をB導波路と呼ぶ。アーム導波路35a、35bは、シリコン部を凸状に段差加工したリブ型構造を持つ。リブの凸部分の x 軸方向の中心位置が、P型領域およびN型領域の境界位置となるように不純物が導入される。例えばイオンインプランテーション（以下、インプラ）によって、不純物が打ち込まれる。

[0026] 図5の(a)は、インプラ工程のためのマスクにずれが生じない場合で、PN接合がコアの中心位置に正確に形成された理想的な状態を示している。図5に示したリブ型構造を持つ変調用導波路では、A導波路35aおよびB導波路35bの断面構造($x-z$ 面)は、P型領域51とN型領域52が対称に設計されている。図4の(a)の上面図($x-y$ 面)で見た場合、アーム導波路35a、35bのそれぞれの長さ方向に沿った中心線を境界として、PN接合が形成される。また、光進行方向(y 方向)に沿った変調器11の中心線に対して、P型領域およびN型領域が対称に配置されている。すなわち、アーム導波路の形状においても、2つの不純物領域の配置においても対称な設計が用いられる。MZ1の2つの変調用導波路の様々な製造工程バ

ラツキによる特性劣化を抑えるため、上述のような対称構造を用いることが可能である。

[0027] リブ型導波路の製造誤差による特性劣化は様々な態様が考えられるが、典型的な態様の1つは、導波路損失の増加である。損失増加の要因の1つは、P型領域51およびN型領域52を形成するためのそれぞれのインプラ位置のずれであり、P型領域およびN型領域のためのそれぞれのマスクずれによって独立に生じる。導波路の損失増加のもう1つの要因は、リブ型導波路の凸型構造を作製するプロセス誤差による、導波路形状のズレである。図5の(a)のようにマスクずれ、導波路形状ずれが無く、PN接合が対称に形成された場合、2本のアーム導波路を伝搬する光に対しては同一の損失を与える。従って、A導波路およびB導波路は同一の特性を持つことになる。

[0028] 図5の(b)は、製造誤差によりP型領域のインプラ工程のためのマスクにずれが生じた場合で、PN接合が理想的な構造からずれて形成された状態を示している。具体的には、P型領域のマスクが-x方向にずれた場合を示しており、A導波路35aでは、コア中央部に不純物が導入されていない空白領域53ができています。また、B導波路35bでは、コア中心を越えてN型領域側にP型不純物が重複して導入されており、この重複領域54では実質的な不純物濃度が減少している。図5の(b)のようなマスクずれが発生した場合、A導波路35aおよびB導波路35bではいずれも不純物ドーピングのプロファイルが理想状態から逸脱し、PN接合の構造・特性に誤差が生じる。このため、2本のアーム導波路における導波路損失が変動し、インプラ工程ごとに変動量のばらつきが生じる。変調器を含む光回路の本回路で、上述のような製造誤差による特性劣化が発生した場合、この特性劣化を検査回路において正確に検出できることが求められる。

[0029] 図6は、変調器を含む光回路における従来技術の検査回路の構成を示す図である。Siフォトニクス回路の基板(チップ)の一部を示しており、本回路内のMZI型変調器11と、検査回路のMZI型変調器21とを示している。本回路の変調器11に使用しているA導波路35aとB導波路35bに

対し、同一長さおよび同一のPN接合構造を有するA導波路35aとB導波路35bを、検査回路の変調器21としてチップ内に配置する。本回路の2本のアーム導波路と検査回路の2本のアーム導波路は完全に平行となるように配置され、導波路長さ方向の位置も同じであることが好ましい。本回路の変調器11および検査回路の変調器21が同じ設計となるため、製造工程において発生するインプラ位置のずれや凸型構造の製造誤差の変調器特性への影響も、本回路と検査回路で同一となる。検査回路の変調器21のA導波路とB導波路を、光配線部30-1、30-2の矩形導波路を通じて検査することで、本回路の変調器11の性能が推定可能となる。

[0030] 前述の通り、図6に示した構成では、本回路の変調器11と検査回路の変調器21のサイズが同じとなり、チップ面積の増大が問題となる。さらに、位相シフタ34a、34bにより干渉状態の調整が必要なため、光および電気信号を利用した煩雑な検査系が必要となる。図6では明示していないが、検査回路21の光配線部30-1、30-2の矩形導波路は、Siチップの端面まで延びて、基板端面を介して光ファイバなどと接続し、損失の検査が行われる。2本のファイバによって、光学測定系に接続する必要がある。

[0031] 図7は、変調器を含む光回路における別の検査回路の構成を示す図である。図7の右側の検査回路21Aは、図6に示した検査回路の変調器21とは異なり、変調器の形態を持たないが、本回路のA導波路35aの性能を推定する検査回路である。本回路のA導波路35aと同じ長さを持ち、ジグザグに折り畳んだ形状の変調用導波路36によって小型化されている。光配線部30-1A、30-2Aの矩形導波路は、本回路の光配線部30-1、30-2と同じ長さを持つ。このような検査回路では、製造工程におけるリブ型形状（凸型構造）の製造誤差は、本回路と検査回路とで同一となり、図6の検査用の変調器21と同等の検査精度が得られるようにも見える。しかしながら、P型領域およびN型領域いずれかのマスクずれが生じたときのインプラ位置ずれ量、ずれの態様は、次に述べるように、本回路の変調器11と検査回路21Aの間で大きく異なっている。

[0032] 図8は、ジグザグ状の変調用導波路におけるマスクずれの態様を説明する図である。図8の(a)は、図7に示した検査回路21Aと同じであり、光が伝搬する変調用導波路36の3つの部分を示している。矩形導波路で構成される光配線部30-1Aへ入力された光は、まず変調用導波路36のi部分を+y方向に伝搬する。次に、光はii部を+x方向に向きを変えて伝搬し、続いて、iii部を-y方向にさらに伝搬する。変調用導波路36において、光はジグザグ状に方向を変えて導波路構造を感じながら伝搬する。したがって、伝搬方向に沿って光が感じる検査回路の導波路構造が本回路の状態を正確に反映しているか否かが、本回路における性能を推定する上で問題となる。

[0033] 図8の(b)は、P型領域のためのマスクが-x方向にずれた場合のジグザグ状に折り畳んだ形状の変調用導波路36において光が感じる導波路構造を示している。左側には、A導波路に対応する図8の(a)の変調用導波路36について、伝搬方向に沿ってi部、ii部、iii部の順に導波路の断面構造を示している。つまり、図8の(b)の各図は光の伝搬とともに光が感じる導波路構造を示している点に留意されたい。図8の(b)の右側は、(a)の変調用導波路36と同一形状で本回路のB導波路35bに対応する変調用導波路(図示せず)について、伝搬方向に沿ってi部、ii分、iii部の順に導波路の断面構造を示している。B導波路に対する変調用導波路は図示していないが、図8の(a)の変調用導波路21Aの全体形状を左右反転し、P型領域とN型領域も反転すれば良い。

[0034] 図8の(b)の左上のy方向に光が伝搬するi部では、P型領域のみが-x方向にずれているため、不純物が導入されていない空白領域53が生じている。(b)の左中のx方向に光が伝搬するii部では、P型領域、N型領域のためのマスクのいずれもy方向のずれが無いと仮定すれば、理想的なPN接合の状態となる。さらに(b)の左下の-y方向に光が伝搬するiii部では、P型領域のみが-x方向にずれているため、コア中心を越えてN型領域側にP型不純物が重なった、この重複領域54が生じている。

[0035] 図8の(b)で留意すべきは、ジグザグ状の変調用導波路36の断面構造を、光の伝搬方向に沿って見ると、光の伝搬する向きによって、マスクずれのために生じるPN接合の形状が異なることである。言い換えると、光の伝搬する向きに応じて、光が感じる導波路の断面構造が変化することになる。図7に示した本回路のA導波路35aにおいて図8の場合と同様に、P型領域のためのマスクが-x方向にずれた場合は、その断面は全長で図8の(b)の左上に示したi部の構造となる。したがって、図8の(a)に示したようなジグザグ状に折り畳んだ変調用導波路36による検査回路21Aは、本回路のA導波路35aで起きるマスクずれの態様を正確に表していない。ジグザグ状に折り畳んだ検査回路21Aは、本回路における変調用導波路の製造誤差で生じる影響を正しく反映しておらず、光回路の検査回路としての精度は低下する。

[0036] 図8の例では、P型領域、N型領域のためのマスクのいずれもy方向のずれが無いと仮定したが、y方向のマスクずれが生じれば、図8の(b)の左中のii部の断面も変化する。本回路のA導波路35aは、y方向が導波路の長さ方向なので、y方向にマスクずれが生じて、導波路断面構造には何も問題が生じない。ところが、ジグザグ状に折り畳んだ変調用導波路による検査回路21Aでは、本来起こり得ない導波路構造の変化さえ生じることになる。さらに、P型領域のためのマスクおよびN型領域のためのマスクずれは、P型領域およびN型領域で独立に生じる。マスクずれによって生じる変調用導波路の性能変化は、本回路と検査回路とで異なってくる。測定系の観点でも、図7では明示していないが、検査回路21の光配線部30-1A、30-2Aの矩形導波路は、Siチップの端面まで延びて、基板端面を介して光ファイバなどと接続し、損失の検査が行われる。チップの対向する2辺の端面において、2本のファイバと光学接続する必要がある。

[0037] 図6に示した検査回路21はチップサイズの増大の点で、図7に示した検査回路21Aは本回路の変調用導波路の特性変動を正確に反映し、製造誤差による特性劣化を検出ができない点で、いずれも十分ではなかった。変調器

を含む光回路では、本回路の変調器で発生する製造誤差による特性の変動量を正確に再現しながら、同時に小型化を実現する検査回路が求められている。

[0038] 本開示の光回路では、本回路の光変調器に生じる製造誤差の影響を正確に反映させると同時に、小型化を実現した検査回路が提示される。以下に説明する新規な検査回路では、電気信号を利用しないで試験光のみを利用する検査方法を採用し、M Z I 型変調器の検査工程を簡略化する。最初に、電気信号を加えない状態のアーム導波路の損失だけによって、製造誤差の影響による M Z I 型変調器の特性変化を検出する原理を説明する。

[0039] 一般に、変調器は、位相差を制御する電気端子を有している。この電気端子への制御電圧によって、変調器全体の損失が最も低くなるように、位相差を調整する。制御電圧を加えた状態で、変調器へ光を入射することで損失検査を行う。変調器を含む光回路では、この電気および光を使った検査は、検査系が複雑で手順も煩雑である。検査工程を簡略化するためには、検査のために光のみを使った検査方法が重要である。

[0040] 図 4 に示したような 2 本のアーム導波路を含む M Z I 型構成によって変調器を実現する場合、理想的には A 導波路 3 5 a および B 導波路 3 5 b の透過率が等しくなるように設計する。しかしながら、前述のインプラ位置のずれや導波路の凸型構造の作製のプロセス誤差が発生した場合、A 導波路および B 導波路の透過率に差異が生じる。このような状況を考慮して、A 導波路の電界透過率を t_A 、B 導波路の電界透過率を t_B とし、アーム導波路間の位相差を ϕ とすると、M Z I の透過率 T_M は、次式で表現できる。

[数1]

$$T_M = \frac{1}{4} (t_A^2 + t_B^2 + 2 \cdot t_A \cdot t_B \cdot \cos \phi) \quad \text{式 (1)}$$

[0041] 上式は、M Z I 型変調器による振幅変調の原理を表しており、この位相差 ϕ を電気信号によって制御することで全体の透過率を変調し、光変調器として使用できる。M Z I 型変調器が最も光を透過させる（損失最小）場合の位

相差 ϕ ($\cos \phi = 1$) を変調器に与えた場合、式 (1) の透過率 T_M は次式となる。

[数2]

$$T_M = \frac{1}{4} (t_A + t_B)^2 = \left(\frac{t_A}{2} + \frac{t_B}{2} \right)^2 \quad \text{式 (2)}$$

[0042] 式 (2) に示したように、A 導波路および B 導波路の透過率 t_A 、 t_B をそれぞれ個別に求めることができれば、変調器としての全体の透過率 T_M を推定することができる。したがって、精度の良い検査回路で A 導波路および B 導波路の透過率 t_A 、 t_B を測定できれば、製造誤差の影響を正確に把握し、製造工程の品質評価に反映させることができる。

[0043] 本開示の光回路では、より小型化された検査回路で本回路の変調器と同一の特性の再現を実現するため、本回路のアーム導波路の半分の長さの検査導波路を備え、試験光が検査導波路上の 2 つの方向を伝搬する構成とし、本回路の変調器と同等の特性の再現を実現する。検査回路における検査導波路の 2 つの方向に試験光を伝搬させるために、光分岐の分岐ポート間に構成されたループ状の経路を利用する。試験光の 2 つの分岐光を検査導波路に導く態様によって、異なる構成の実施形態が開示される。光分岐は、試験光を等しい強度で分配し、分岐光がループ状の経路をそれぞれ伝搬した後に、2 つの分岐光を同位相で合波する。検査導波路を複数に分割することで、検査導波路の長さをさらに短縮することもできる。さらに検査導波路の長さを、本回路のアーム導波路に対して所定の比率 ($1/N$) で短縮化して、その比率に応じて検査回路で測定された導波路損失を修正 ($N/2$ 倍) することで、変調器の実質的に同じ損失推定もできる。

[0044] 本開示の光回路における検査回路の構成によって、検査導波路の特性から本回路内の変調器特性の正確な推定が可能となる。

[0045] [実施形態 1]

図 9 は、本開示の変調器を含む実施形態 1 の光回路における検査回路の構成を示す図である。図 9 の (a) は、変調器を含む光回路の Si 基板上に形

成された検査回路 61A の上面 ($x-y$ 面) を示している。図 3 に示したように光回路には本回路 10-1 および検査回路 20 が含まれ、検査回路 61A は、検査回路 20 の一部である Test Mod 21 に相当する。図 9 の (b) は、本回路の変調用のアーム導波路 35a に相当する検査導波路 60a の導波路断面 ($x-z$ 面) を示す。

[0046] 図 9 の (a) を参照すると、検査回路 61A は、試験光 40 が入力される矩形導波路 37-1 (入力部) と、矩形導波路 37-1 に接続された検査導波路 60a と、検査導波路 60a を $+y$ 方向に伝搬してきた試験光を逆方向 ($-y$ 方向) に反射する光反射部を備える。光反射部は、矩形導波路 37-2、光分岐 38 およびループ状の矩形導波路 39 を含む。試験光は、矩形導波路 37-1 に入力されると、そのまま検査導波路 60a を y 方向に伝搬し、光反射部において全反射する。全反射した試験光は、検査導波路 60a を逆方向の $-y$ 方向に伝搬して、矩形導波路 37-1 に達する。矩形導波路 37-1 の端部を、チップの切断面とすれば、光ファイバによって外部と接続することができる。矩形導波路で作製される部分は、本回路の光配線部と対応付けることができる。

[0047] 図 10 は、実施形態 1 の検査回路における光反射部の構成を示す図である。図 10 の (a) は、往路における試験光の伝搬を示し、(b) は復路における試験光の伝搬を示している。図 10 の (a) では、検査導波路 60a から試験光 40 が y 方向に伝搬して、光分岐 38 に到達する。光分岐は、入力光を等分に分配し、ループ状の矩形導波路 39 の 2 方向へ同一強度の分岐光 41a、41b を出力する。図 10 の (b) では、ループ状の矩形導波路 39 を周って伝搬した分岐光 41a、41b は、同相で光分岐 38 により合波され、合波された試験光 42 として、検査導波路 60a を逆方向 ($-y$ 方向) に伝搬する。このように光反射部の光分岐 38 は、検査導波路の往路を伝搬してきた試験光を、等しい強度に分岐し、さらに分岐光を再び合波して、復路としての検査導波路に伝搬させるよう動作する。図 10 に示した光反射部は、検査導波路 60a 上で 2 つの方向に試験光を伝搬させ、試験光を往復

させるためのループバックミラーとして動作する。

[0048] 図9の(b)を再び参照すると、検査導波路60aにおける往路および復路において試験光が感じる導波路の断面構造が示されている。(b)の左の図は、y方向に検査導波路60aの往路を進む試験光が感じるi部の導波路構造であって、P型領域用のマスクが-x方向にずれた場合を示している。すなわち、P型領域51のみが-x方向にずれているために、不純物の導入されていない空白領域53が生じている。(b)の右の図は、-y方向に検査導波路60aの復路を進む試験光が感じるii部の導波路構造であって、P型領域用のマスクが-x方向にずれた場合を示している。ここで注目すべきは、往路と復路で試験光が感じる導波路構造は、P型領域とN型領域の位置が左右逆転していることだけ相違し、マスクずれにより生じたPN接合のプロファイルは実質的に同一であることである。物理的に同一の検査導波路60aの往路および復路を利用しているため、試験光はリブ構造の中心線に対して対称な断面構造を感じることになる。P型領域のみがリブ構造の中心線から離れて空白領域53ができていた点で、試験光が感じる往路のi部および復路のii部の導波路構造は同一となる。したがって、往路および復路では、P型領域のためのマスクずれによって生じる導波路損失も同一となる。往路および復路を通じた試験光が感じる断面構造の一致性は、N型領域のマスクのみにずれが生じていても、P型およびN型の両方のマスクで同時に独立にずれが生じていても同様である。

[0049] 検査回路61Aにおける検査導波路60aの長さを、本回路の変調用導波路であるアーム導波路35aの長さの半分(1/2)としておけば、本回路のアーム導波路35aで生じたマスクずれなどによる断面構造の変化が、検査導波路60aにおいても正確に再現できる。試験光が、検査導波路60aの往路および復路を通じて、実質的に本回路のアーム導波路35aと同じ長さを伝搬するからである。したがって、製造工程において本回路の光変調器に生じる製造誤差の影響を、検査回路61Aで正確に反映させることができる。マスクずれの態様を同じものとするために、本回路のアーム導波路35

aと、検査回路61Aの検査導波路60aは、平行に構成されていなければならない。尚、検査導波路60aの長さについては、必ずしもアーム導波路35aの長さの半分(1/2)とするだけに限られない点は最後に説明する。

[0050] したがって本発明は、シリコン基板に形成された光回路において、断面においてPN接合が形成された2本のアーム導波路35a、35bを含むマツハツェンダ干渉計型の変調器と、前記変調器の検査回路61Aであって、試験光40を入力する、矩形導波路37-1を含む入力部、前記矩形導波路に接続され、前記2本のアーム導波路と平行に、少なくとも一方の前記アーム導波路35aと同一構成のPN接合を有する少なくとも1つの検査導波路60a、および、矩形導波路で構成され、前記試験光を等しい強度に分岐し、2つの分岐光を前記検査導波路へ互いに逆方向に伝搬させる光分岐38を含む検査回路とを備えたものとして実施できる。上述の少なくとも1つの検査導波路の全長は、前記アーム導波路の長さの1/2とすることができる。

[0051] 具体的には、入力部は、単一の矩形導波路37-1であり、少なくとも1つの検査導波路は、前記アーム導波路の1/2の長さの単一の検査導波路60aであって、当該単一の検査導波路の一端は前記入力部の前記単一の矩形導波路に接続されており、前記単一の検査導波路の他端は前記光分岐38の入力側ポートに接続され、前記光分岐の分岐側ポートが単一の矩形導波路39によってループ状に接続されている。

[0052] 図9に示した検査回路61Aは、図4に示した本回路のA導波路35aのための検査回路である。検査回路61Aにおいて、検査導波路60aのP型領域とN型領域の位置を逆にすれば、本回路のB導波路35bのための検査回路61Bとなる。本回路の2本のアーム導波路に対応した2つの検査回路で、それぞれのアーム導波路の透過率(t_A 、 t_B)を検査することができる。図9の検査回路61Aでは、電気信号を使用しないで、試験光のみの使用により検査が可能であり、1本の光入出力ファイバのみの簡略化された測定系で済み、検査手順もよりシンプルとなる。従来技術の検査回路21において

は、チップの2辺の端面において、測定用の2本ファイバが必要であったの
と比べて、検査系が大幅に簡略化される。また、本回路の変調用導波路35
aの半分の長さで構成された検査導波路60aの往復の透過率は、本回路の
変調用導波路35aの電界透過率と一致する。従って、A導波路の検査回路
とB導波路の検査回路より求められた電界透過率(t_A 、 t_B)を式(2)に代
入するだけで、本回路のMZI型変調器の損失が推定可能となる。

[0053] 検査回路61Aでは、光の入出力部となる矩形導波路37-1や、光反射
部のループバックミラーにおいてある程度の過剰損失が発生する。このため
、別途、光反射部のために設けた検査回路等により過剰損失分求めて、検査回
路の電界透過率を補償する必要がある。検査回路と本回路との間で、変調用
導波路の断面構造に差が出ないように、本回路のアーム導波路35a、35
bおよび検査回路のA導波路用の検査導波路60a、B導波路用の検査導波
路60bが、お互いに平行となるように設計する。これによりインプラ位置
ずれ等が発生しても、検査回路において本回路の変調器の特性変動を正確に推
定できる。

[0054] 変調器の設計によっては、A導波路およびB導波路において、それぞれ長
手方向にインプラ位置等を変化させる場合がある。その場合であっても、長
手方向の設計を維持したまま、長さを半分にすることで、図9のような検査
回路から、本回路の特性を推定できる。

[0055] 図9の例では、本回路の2本のアーム導波路のPN接合が、変調器の光伝
播の方向に沿った中心線に対して対称に構成されていた。第1のアーム導波
路(A導波路)の断面におけるPN接合の構成、および、第2のアーム導波
路(B導波路)の断面におけるPN接合の構成は、光の伝搬方向に平行な2
本のアーム導波路の中心線に対して対称である。この時は、第1のアーム導
波路に対応する第1の検査回路61Aと、第2のアーム導波路に対応する第
2の検査回路62Bとを備えことになる。A導波路とB導波路が対称構造を
とらずに、同一の構造であれば、共通の単一の検査回路で済むことに留意さ
れたい。

[0056] 【実施形態 2】

実施形態 1 の光回路における検査回路 6 1 A では、単一の検査導波路 6 0 a の一方の端部に光分岐を含む光反射部を設けて、単一の検査導波路 6 0 a に対して試験光のための往路および復路を実現していた。光分岐の分岐側ポートが単一の矩形導波路 3 9 によってループ状に接続されることで、2 つの分岐光が合波された後で、試験光（すなわち 2 つの分岐光）は検査導波路 6 0 a の復路を伝搬している。2 つの分岐光を検査導波路へ互いに逆方向に伝搬させる光分岐の別の構成によって、検査回路を実現できる。

[0057] 図 1 1 は、本開示の変調器を含む実施形態 2 の光回路における検査回路の構成を示す図である。図 1 1 の (a) は、変調器を含む光回路の S i 基板上に形成された検査回路 6 2 B の上面 (x-y 面) を示している。図 3 に示したように光回路には本回路 1 0-1 および検査回路 1 0-2 が含まれ、図 1 1 の検査回路 6 2 B は、図 3 の検査回路 2 0 の一部である Test Mod 2 1 に相当する。図 1 1 の (b) は、本回路のアーム導波路 3 5 b (B 導波路) に相当する、2 本の検査導波路の内の検査導波路 6 0-1 の i 部および、検査導波路 6 0-2 の ii 部の断面構造 (x-z 面) を示す。

[0058] 図 1 1 の (a) を参照すると、検査回路 6 2 B は、図 1 0 に示した光反射部のループ経路内に 2 本の検査導波路 6 0-1、6 0-2 が含まれた構成になっている。検査回路 6 2 B における 2 本の検査導波路 6 0-1、6 0-2 の各長さを、本回路の変調用導波路であるアーム導波路 3 5 b の長さの半分 ($1/2$) としている。2 本の検査導波路 6 0-1、6 0-2 は、PN 接合の構造の点で、同一の断面構造を持つ。したがって、x-z 面の断面において、P 型領域および N 型領域の位置関係は同じである。

[0059] 試験光 4 0 は、最下部の矩形導波路 3 7 から光分岐 3 8 の入力ポートに入力される。光分岐 3 8 によって、試験光を等分に分配し、分岐ポートから 2 本の検査導波路を含むループ経路の 2 方向へ同一強度の分岐光を出力する。

[0060] 光分岐 3 8 の一方の分岐ポートから出力された一方の分岐光は、検査導波路 6 0-1 を y 方向に伝搬して、矩形導波路 3 9-2 を経由して、さらに検

査導波路 60-2 を逆方向（-y 方向）に伝搬する。一方の分岐光は、ループ経路を時計回りに伝搬して、他方の分岐ポートに到達する。光分岐 38 の他方の分岐ポートから出力された他方の分岐光は、ループ経路を反時計回りに伝搬して、分岐ポートに到達する。お互いに逆方向に伝搬する 2 つの分岐光は、それぞれ、2 本の検査導波路 60-1、60-2 を経ており、検査導波路 60-1、60-2 の全長に渡って損失を受ける。光分岐 38 では、ループ経路を伝搬した 2 つの分岐光が同相で合波され、検査導波路 60-1、60-2 を経た試験光として矩形導波路 37 から出力される。

[0061] ここで図 11 の（b）を参照すれば、上述の 2 本の検査導波路 60-1、60-2 において試験光が感じる導波路の断面構造が示されている。（b）の左の図は、y 方向に検査導波路 60-1 を進む試験光が感じる i 部の導波路構造であって、N 型領域用のマスクが -x 方向にずれた場合を示している。すなわち、N 型領域 51 のみが -x 方向にずれているために、P 型領域側に N 型の不純物が重複して導入されおり、重複領域 54 が生じている。（b）の右の図は、-y 方向に検査導波路 60-2 を進む試験光が感じる ii 部の導波路構造であって、N 型領域用のマスクが -x 方向にずれた場合を示している。

[0062] ここでも、2 本の検査導波路 60-1、60-2 で試験光が感じる導波路構造は、P 型領域と N 型領域の位置が左右逆転していることだけ相違し、マスクずれにより生じた P N 接合のプロファイルは実質的に同一である。ループ経路を周る試験光はリブ構造の中心線に対して対称な断面構造を感じるようになる。N 型領域のみがリブ構造の中心線を越えて P 型領域との重複領域 54 ができている点で、試験光が感じる i 部および ii 部の導波路構造は同一となる。したがって、2 本の検査導波路 60-1、60-2 では、N 型領域のためのマスクずれによって生じる導波路損失も同一となる。2 本の検査導波路 60-1、60-2 を通じて試験光が感じる断面構造の一致性は、P 型領域のマスクのみにずれが生じて、P 型および N 型の両方のマスクで同時に独立にずれが生じて同様である。

- [0063] したがって本実施形態の光回路は、入力部は、光分岐38へ接続された単一の矩形導波路37であり、前記少なくとも1つの検査導波路は、アーム導波路の1/2の長さを有する2本の検査導波路60-1、60-2であって、前記光分岐の分岐側ポートに前記2本の検査導波路の各々の一端が接続され、前記2本の検査導波路の各々の他端が、矩形導波路39-2によって接続されており、前記2本の検査導波路が前記分岐側ポートの間にループ状に接続されているものとして実施できる。
- [0064] 本実施形態の検査回路でも、光分岐38は、等しい強度に分岐された2つの試験光を、検査導波路に伝搬させるよう動作している。実施形態1では、光分岐38は、2つの分岐光を合波した後で、単一の検査導波路の復路へ伝搬させている。これに対して実施形態2では、光分岐38は、2つの分岐光をループ経路内の検査導波路へ互いに逆向きに伝搬させている。実施形態1と実施形態2の差異は、検査導波路がループ経路の外にあるのか、ループ経路内に含まれるのかの違いによる。光分岐によるループ経路を含む光反射部を、検査導波路の端部に備えた実施形態1の場合は、試験光が単一の検査導波路を往復することで、異なるタイミングで検査導波路の2つの方向を試験光が伝搬する。一方、光分岐によるループ経路の内部に2本の検査導波路が含まれる実施形態2の場合は、検査導波路上の2つの方向で同時に試験光が伝搬していることに留意されたい。
- [0065] 本実施形態の検査回路62Bにおける2本の検査導波路60-1、60-2の全体の透過率は、本回路のアーム導波路35bの透過率と一致する。本回路の2本のアーム導波路に対応した2つの検査回路で、それぞれのアーム導波路の透過率(t_A 、 t_B)を検査することができる。A導波路の検査回路とB導波路検査回路より求められた電界透過率(t_A 、 t_B)を式(2)に代入するだけで、実施形態1と同様に、本回路のMZI型変調器の損失が推定可能となる。本実施形態でも、検査回路62Bと本回路との間で、変調用導波路の断面構造に差が出ないように、本回路のアーム導波路35a、35bおよび検査回路の2本の検査導波路60-1、60-2が、すべて、お互いに平

行となるように設計する。図 11 の検査回路 62B でも、電気信号を使用しないで、試験光のみの使用により検査が可能であり、1本の光入出力ファイバのみの簡略化された測定系で済み、検査手順もよりシンプルである。

[0066] 上述の2本の検査導波路 60-1、60-2の長さについて、必ずしもアーム導波路 35a の長さの半分 ($1/2$) とするだけに限られない点は最後に説明する。

[0067] [実施形態3]

本実施形態では、光分岐のループ経路内に、さらに多数に分割した検査導波路を設けて、1本の検査導波路の長さをより短縮化した、検査回路の構成例を示す。本実施形態では、検査回路の検査導波路の全長を本回路のアーム導波路の半分の長さに維持しつつ、複数本に分轄している。図7に示した従来技術のジグザグ状の検査回路とは異なり、本回路の光変調器に生じる製造誤差の影響を正確に反映させ、同時に検査回路の小型化と実現する。

[0068] 図12は、本開示の変調器を含む実施形態3の光回路の検査回路の構成を示す図である。図12の(a)は、変調器を含む光回路のSi基板上に形成された検査回路 63A の上面 (x-y 面) を示している。図12の検査回路 63A は、図3の検査回路 20 の一部である Test Mod 21 に相当する。図12の(b)は、本回路のアーム導波路 35a (A 導波路) に相当する4本の検査導波路の内の、検査導波路 60-1 のi部および、検査導波路 60-2 のii部の導波路断面構造 (x-z 面) を示す。

[0069] 図12の(a)を参照すると、検査回路 63A は、図10に示した光反射部のループ経路内に4本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 が含まれた構成になっている。検査回路 63A における4本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 の各長さを、本回路の変調用導波路であるアーム導波路 35a の長さの $1/4$ としている。4本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 は、PN接合の構造の点で、同一の断面構造を持つ。したがって、x-z 面の断面において、P型領域およびN型領域の位置関係は同じである。4本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 の長さについては、必ずしもアーム導波路 35a の長さの $1/4$ と

するだけに限られない点は最後に説明する。

[0070] 試験光40は、最下部の矩形導波路37から光分岐38の入力ポートに入力される。光分岐38によって、試験光を等分に分配し、分岐ポートから4本の検査導波路を含むループ経路の2方向へ同一強度の分岐光を出力する。光分岐38の一方の分岐ポートから出力された一方の分岐光は、検査導波路60-1をy方向に伝搬して、矩形導波路39-1を経由して、検査導波路60-2を逆方向（-y方向）に伝搬する。さらに矩形導波路39-2を経由して、検査導波路60-3を再びy方向に伝搬して、矩形導波路39-3を経由して、検査導波路60-4を逆方向（-y方向）に伝搬する。このように、検査回路63Aの4本の検査導波路は、試験光の伝搬方向が交互に変わるように、隣接する検査導波路間が矩形導波路によって直列に接続され、4本の検査導波路が光分岐の分岐側ポートの間にループ状に接続されている。

[0071] 上述のように、分岐光の一方は、第1の分岐ポートから、ループ経路を時計回りに伝搬して、第2の分岐ポートに到達する。同様に、分岐光の他方は、第2の分岐ポートから、ループ経路を反時計回りに伝搬して、第1の分岐ポートに到達する。お互いに逆方向に伝搬した2つの分岐光は、それぞれ、順次、4本の検査導波路60-1～60-4を経ており、検査導波路60-1～60-4の全長に渡って損失を受ける。

[0072] 光分岐38では、ループ経路の4本の検査導波路を伝搬した2つの分岐光が同相で合波され、検査導波路60-1～60-4を経た試験光として矩形導波路37から出力される。

[0073] 図12の（b）は、上述の4本の検査導波路60-1～60-4において試験光が感じる導波路の断面構造が示している。（b）の左の図は、y方向に検査導波路60-1を進む試験光が感じるi部の導波路構造であって、P型領域用のマスクが+x方向にずれた場合を示している。すなわち、P型領域51のみが+x方向にずれているために、N型領域側へP型不純物が重複して導入されおり、重複領域54が生じている。（b）の右の図は、-y方

向に検査導波路 60-2 を進む試験光が感じる ii 部の導波路構造であって、P 型領域用のマスクが +x 方向にずれた場合を示している。本実施形態でも、2 本の検査導波路 60-1、60-2 で試験光が感じる導波路構造は、P 型領域と N 型領域の位置が左右逆転していることだけ相違し、マスクずれにより生じた PN 接合のプロファイルは実質的に同一である。ループ経路を周る試験光はリブ構造の中心線に対して対称な断面構造を感じるようになる。P 型領域のみがリブ構造の中心線を越えて重複領域 54 ができている点で、試験光が感じる i 部および ii 部の導波路構造は同一となる。さらに残りの検査導波路 60-3、60-4 でも同様であって、4 本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 では、P 型領域のためのマスクずれによって生じる導波路損失も同一となる。4 本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 を通じて試験光が感じる断面構造の一致性は、N 型領域のマスクのみにずれが生じて、P 型および N 型の両方のマスクで同時に独立にずれが生じていても同様である。

[0074] 本実施形態の検査回路でも、光分岐 38 は、等しい強度に分岐された 2 つの試験光を、検査導波路に伝搬させるよう動作している。実施形態 2 の場合と同様に、光分岐 38 は 2 つの分岐光を検査導波路へ互いに逆方向に伝搬させている。実施形態 2 と同様に、4 本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 が、光分岐 38 によるループ経路の内部に含まれる実施形態 3 の場合は、試験光が検査導波路を 2 つの方向に同時に伝搬していることに留意されたい。

[0075] 本実施形態の検査回路 63A における 4 本の検査導波路 60-1 ~ 60-4 の全体の透過率は、本回路のアーム導波路 35a の透過率と一致する。本回路の 2 本のアーム導波路 35a、35b に対応した 2 つの検査回路で、それぞれのアーム導波路の透過率 (t_A 、 t_B) を検査することができる。A 導波路の検査回路と B 導波路の検査回路より求められた電界透過率 (t_A 、 t_B) を式 (2) に代入するだけで、実施形態 1、実施形態 2 と同様に、本回路の MZ I 型変調器の損失が推定可能となる。本実施形態でも、検査回路 63A と本回路との間で、変調用導波路の断面構造に差が出ないように、本回路のアーム導波路 35a、35b および検査回路の 4 本の検査導波路 60-1 ~ 6

0-4が、すべて、お互いに平行となるように設計する。図12の検査回路63Aでも、電気信号を使用しないで、試験光のみの使用により検査が可能であり、1本の光入出力ファイバのみの簡略化された測定系で済み、検査手順もよりシンプルである。

[0076] 図12の検査回路63Aは、図7に示した従来技術のジグザグ状の試験回路と一見して似ている。しかし、4本の検査導波路が、本回路のアーム導波路と同一構成であり、試験光の伝搬方向が交互に変わるように、隣接する検査導波路が矩形導波路によって直列に接続されている点で異なる。さらに4本の検査導波路が、光分岐の分岐側ポートの間にループ状に接続されている点でも異なっている。

[0077] 図12の、光分岐のループ経路内に複数の分割した検査導波路を設ける構成は、さらに拡張できることが容易に理解できる。例えば、6本の検査導波路を交互に矩形導波路によって直列に接続すれば、6本の検査導波路の各長さを、本回路の変調用導波路であるアーム導波路の長さの $1/6$ とできる。また、8本の検査導波路を交互に矩形導波路によって直列に接続すれば、8本の検査導波路の各長さを、本回路の変調用導波路であるアーム導波路の長さの $1/8$ となる。検査回路の長さを大幅に短縮化できる。

[0078] 上述の3つの実施形態では、それぞれの検査回路において、検査用導波路の実効的な長さが本回路の各アーム導波路と同じ長さとなるようにしていた。検査回路の導波路長さ方向のサイズをさらに縮小するために、検査導波路の長さを本回路のアーム導波路の長さの $1/N$ （または x 倍： $0 < x < 1$ ）にして、測定される導波路損失を $N/2$ 倍（または $x/2$ 倍）しても、本回路のアーム導波路の損失を推定することができる。

[0079] 例えば、実施形態1の検査回路61Aでは、検査導波路60aの長さは本回路のアーム導波路35aの $1/2$ としていたが、検査回路61Aの構成はそのまま、さらに半分の $1/4$ とすることができる。この場合は、A導波路およびB導波路の2つ検査回路から得られる損失は、半分になっているので、この損失を2倍すれば、式(2)によって本回路のMZIの損失を推定

できる。このように、検査導波路の長さを $1/2$ に限らず $1/N$ として、検査回路で測定される損失を $N/2$ 倍することで、本回路のアーム導波路の損失を推定できる。変調器を含む光回路の製造工程において、工程の変化およびばらつきを把握するためには、損失値の変化を検出することができれば良い場合もある。上述のような検査導波路の短縮化は、推定精度の低下を伴う場合もあるので、製造工程で求められる品質レベルに応じて、短縮化の程度（ N の値）を選べば良い。

[0080] したがって実施形態 1～3 では、本回路のアーム導波路の長さに対する検査導波路の長さ（ $1/2$ 、 $1/4$ ）は上述の短縮化によって任意の長さとすることもできる点に留意されたい。また本開示の光回路での検査回路では、従来技術の検査回路で備えていた矩形導波路の位相シフタ 34 a、34 b が不要となり、位相シフタの調整も不要である。さらには、1つの検査回路に対して1本の入出力ファイバで損失の測定ができる点でも、従来技術と比べて検査系、測定手順を大幅に簡略化できる点で優れている。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明は、光通信に利用できる。

請求の範囲

[請求項1]

シリコン基板に形成された光回路において、
断面においてP N接合が形成された2本のアーム導波路を含むマッハツェンダ干渉計型の変調器と、
前記変調器の検査回路であって、
試験光を入力する、矩形導波路を含む入力部、
前記矩形導波路に接続され、前記2本のアーム導波路と平行に、
少なくとも一方の前記アーム導波路と同一構成のP N接合を有する少なくとも1つの検査導波路、および、
矩形導波路で構成され、前記試験光を等しい強度に分岐し、2つの分岐光を前記検査導波路へ互いに逆方向に伝搬させる光分岐を含む検査回路と
を備えた光回路。

[請求項2]

前記入力部は、単一の矩形導波路であり、
前記少なくとも1つの検査導波路は、前記アーム導波路の1／2の長さの単一の検査導波路であって、当該単一の検査導波路の一端は前記入力部の前記単一の矩形導波路に接続されており、
前記単一の検査導波路の他端は前記光分岐の入力側ポートに接続され、前記光分岐の分岐側ポートが矩形導波路によってループ状に接続されている
請求項1に記載の光回路。

[請求項3]

前記入力部は、前記光分岐へ接続された単一の矩形導波路であり、
前記少なくとも1つの検査導波路は、前記アーム導波路の1／2の長さを有する2本の検査導波路であって、前記光分岐の分岐側ポートに前記2本の検査導波路の各々の一端が接続され、
前記2本の検査導波路の各々の他端が、矩形導波路によって接続されており、前記2本の検査導波路が前記分岐側ポートの間にループ状に接続されている

請求項 1 に記載の光回路。

[請求項4] 前記入力部は、前記光分岐へ接続された単一の矩形導波路であり、
前記少なくとも 1 つの検査導波路は、前記アーム導波路の $1/4$ の長さを有する 4 本の検査導波路であって、前記 4 本の検査導波路は、前記試験光の伝搬方向が交互に変わるように、隣接する検査導波路が矩形導波路によって直列に接続され、前記 4 本の検査導波路が前記光分岐の分岐側ポートの間にループ状に接続されている

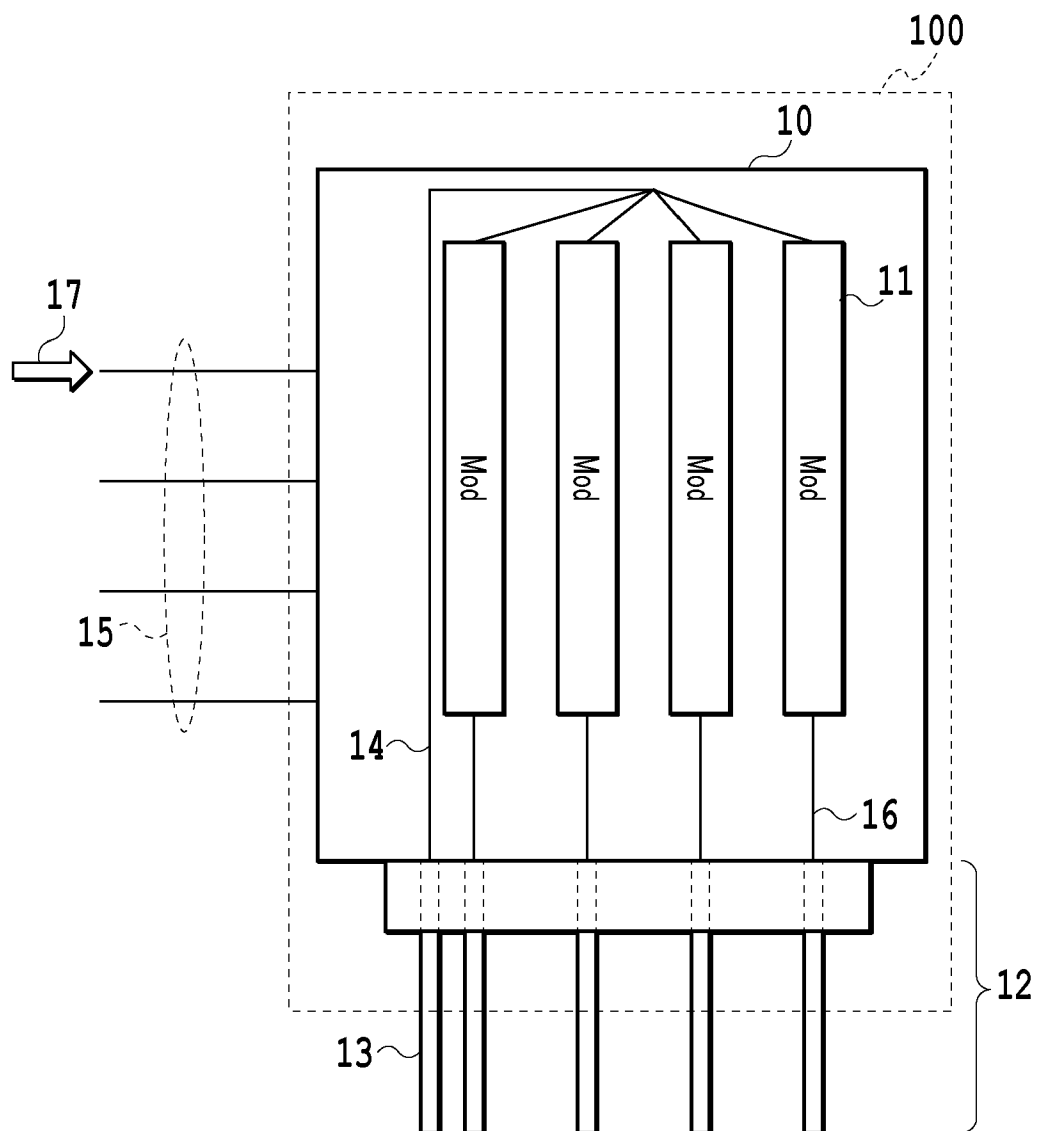
請求項 1 に記載の光回路。

[請求項5] 前記 2 本のアーム導波路はリブ型導波路であり、前記矩形導波路は、PN 接合を含まないリッジ型導波路である請求項 1 乃至 4 いずれかに記載の光回路。

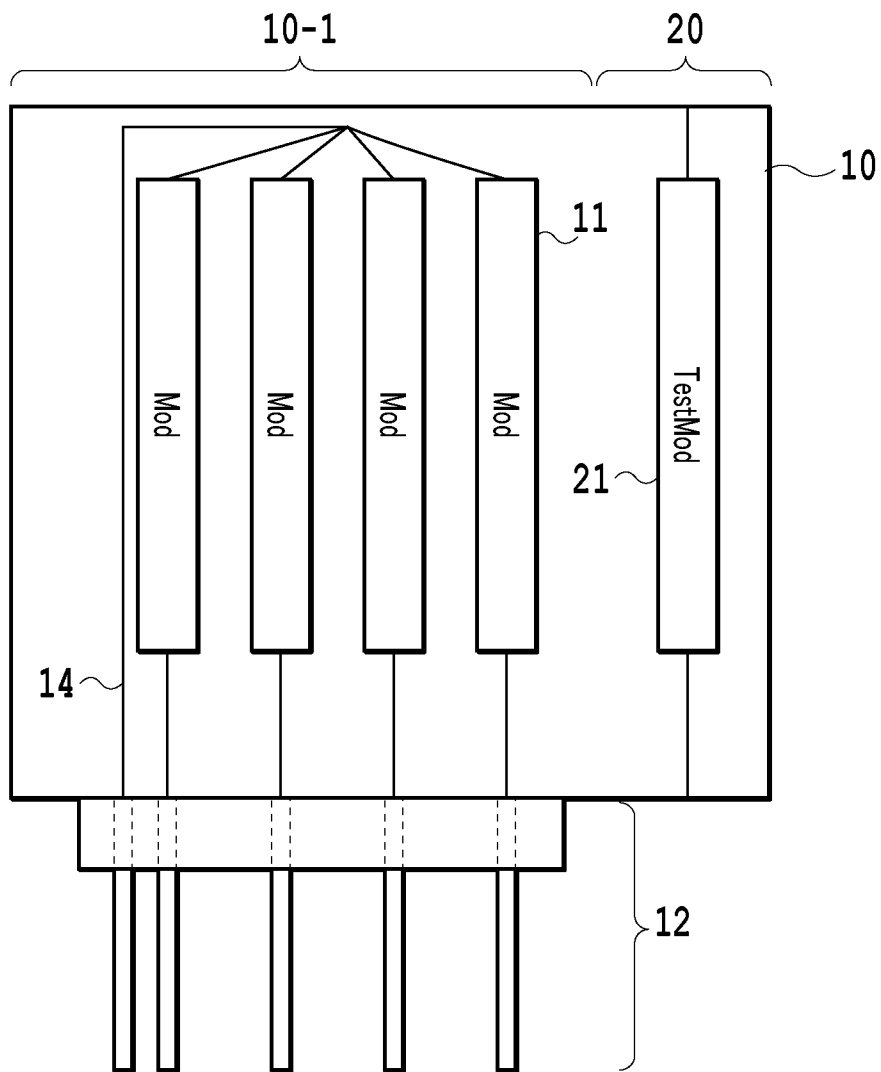
[請求項6] 前記 2 本のアーム導波路の内の第 1 のアーム導波路の断面における PN 接合の構成、および、第 2 のアーム導波路の断面における PN 接合の構成は、光の伝搬方向に平行な前記 2 本のアーム導波路の中心線に対して対称であり、前記第 1 のアーム導波路に対応する第 1 の検査回路と、前記第 2 のアーム導波路に対応する第 2 の検査回路とを備えた請求項 1 乃至 4 いずれかに記載の光回路。

[請求項7] 前記 2 本のアーム導波路の内の第 1 のアーム導波路の断面における PN 接合の構成、および、第 2 のアーム導波路の断面における PN 接合の構成は、同一であって、前記第 1 のアーム導波路および前記第 2 のアーム導波路に共通の単一の検査回路を備えた請求項 1 乃至 4 いずれかに記載の光回路。

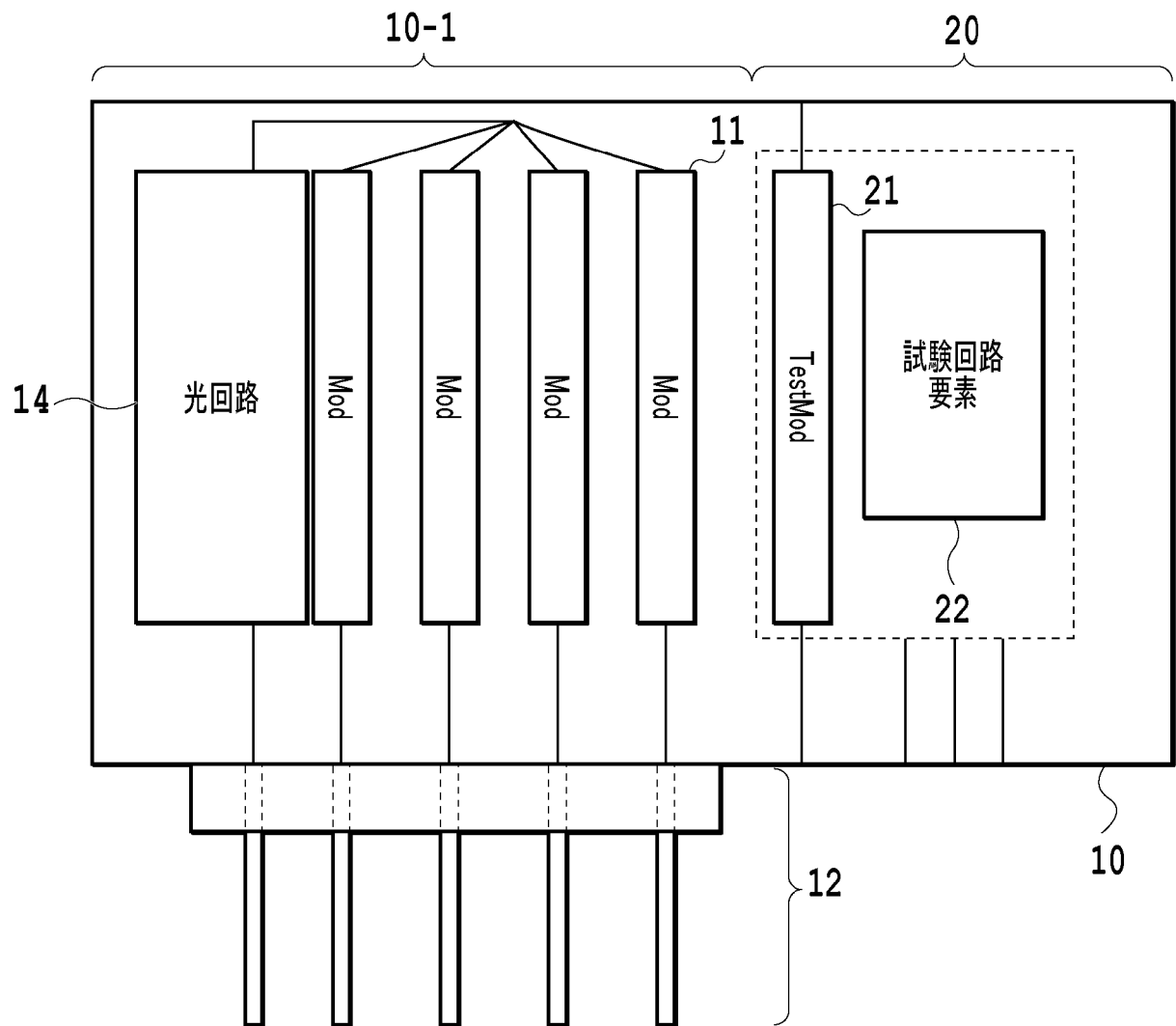
[図1]



[図2]

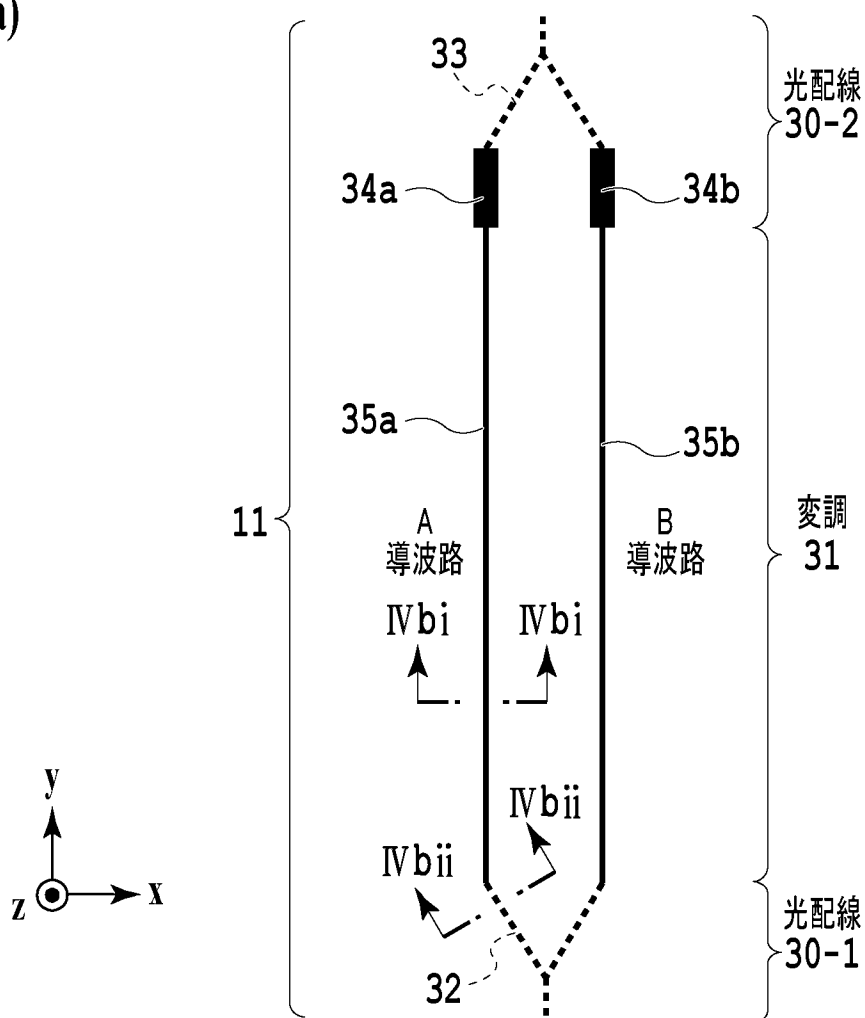


[図3]

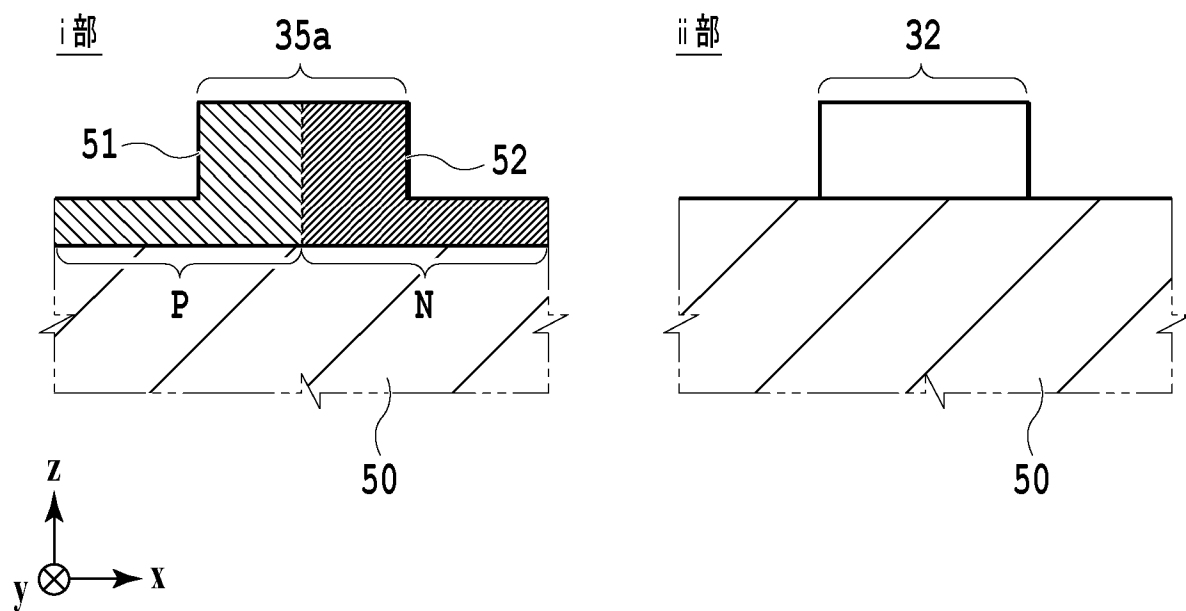


[図4]

(a)

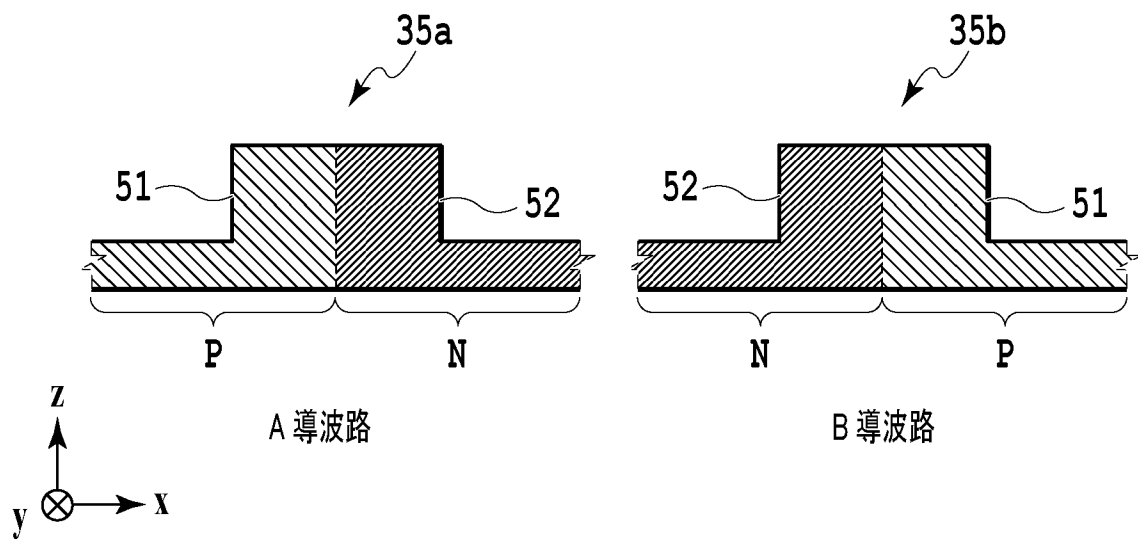


(b)

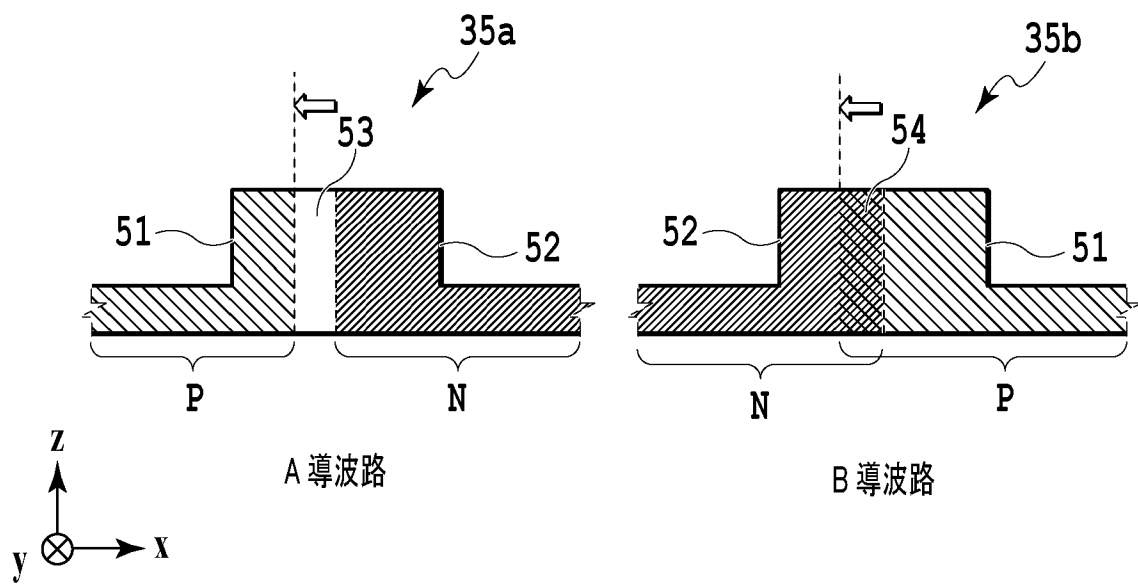


[図5]

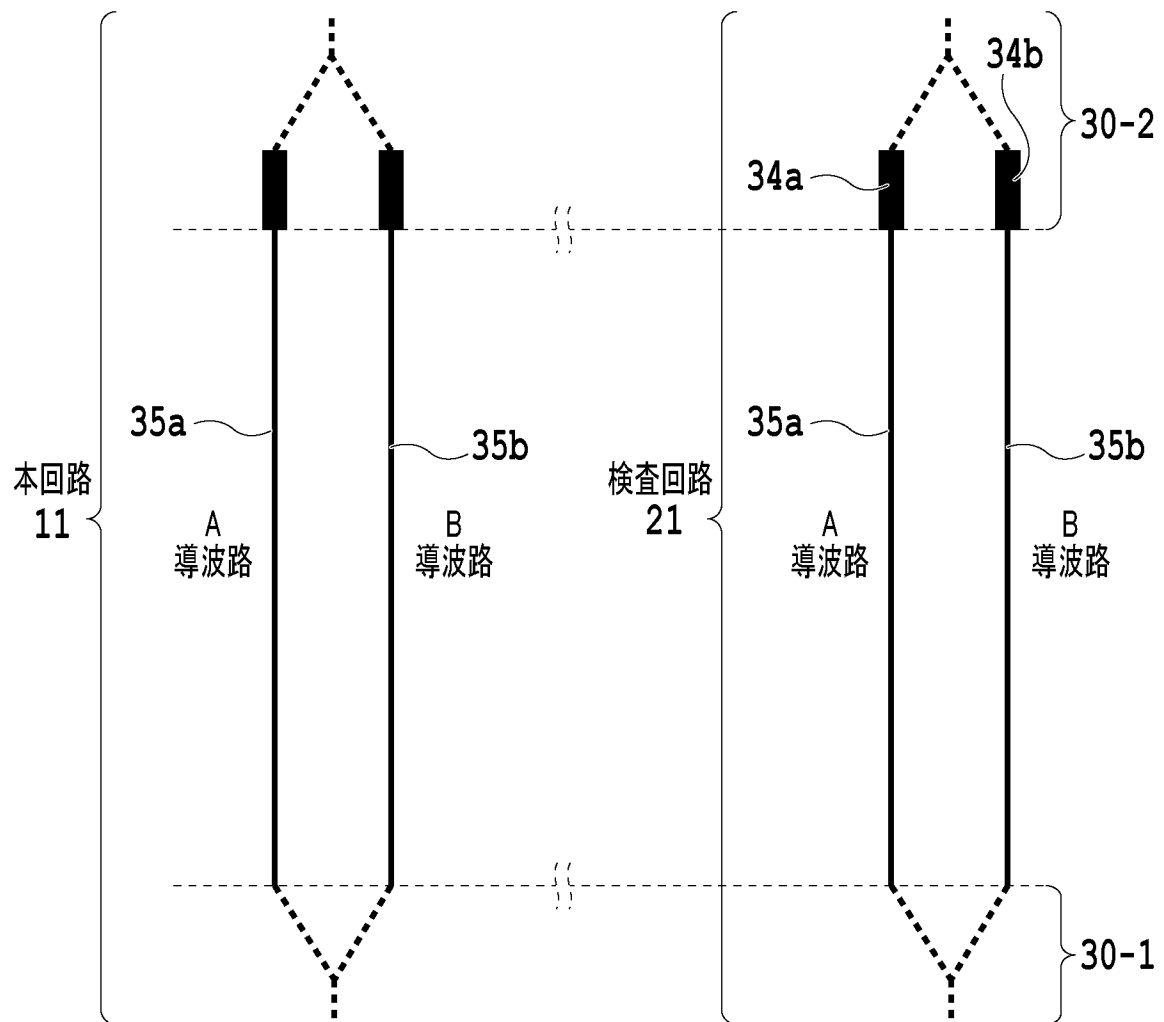
(a) マスクずれなし



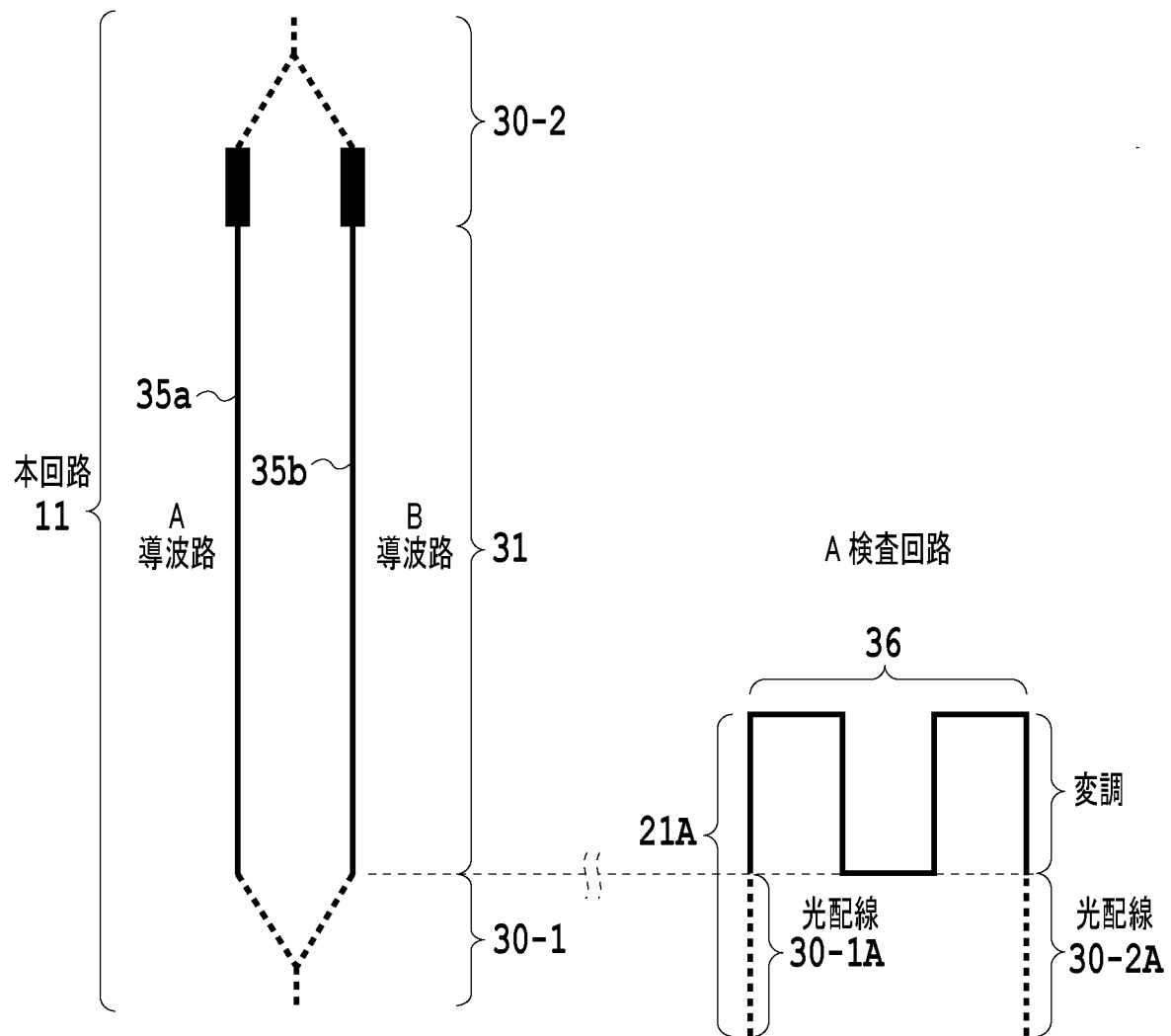
(b) Pマスク-x方向ずれ



[図6]

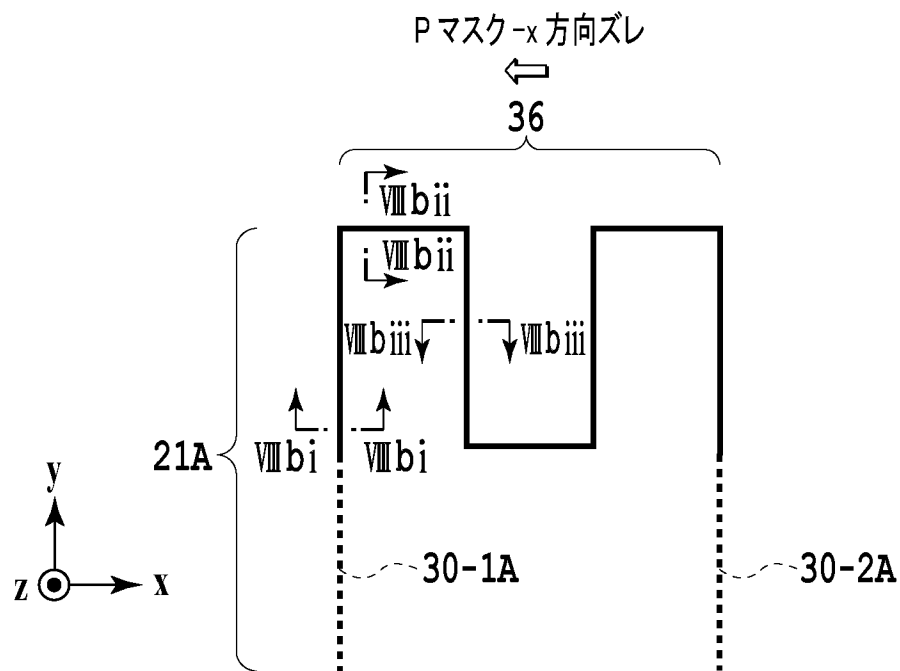


[図7]

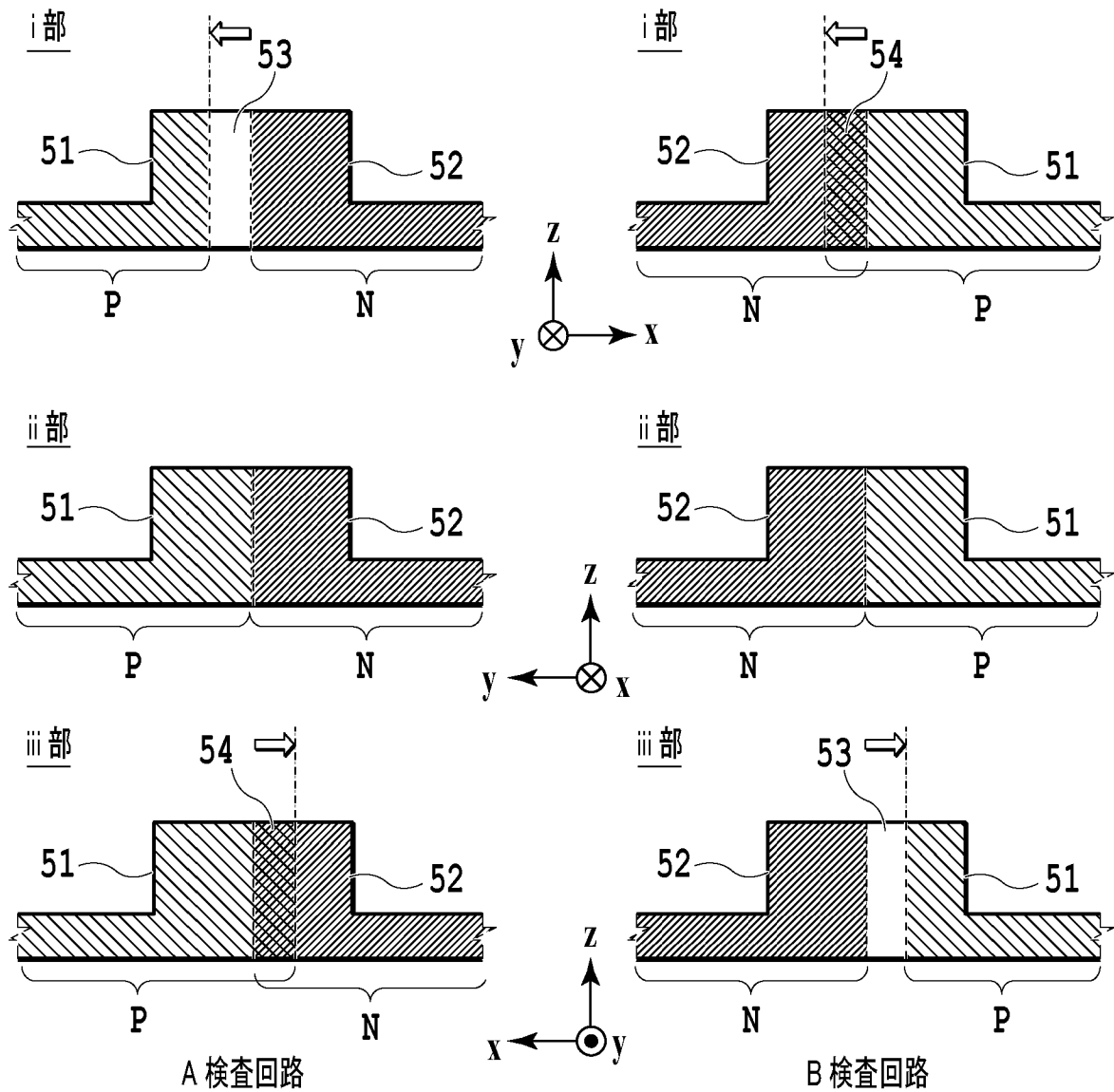


[図8]

(a)

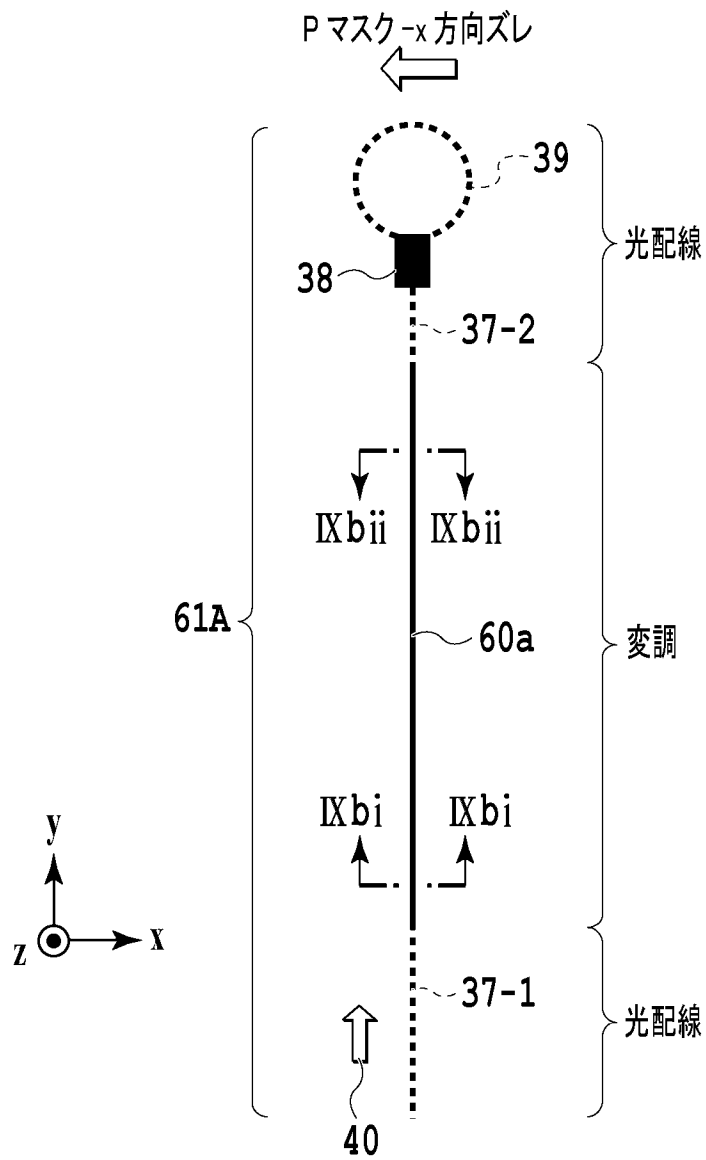


(b)

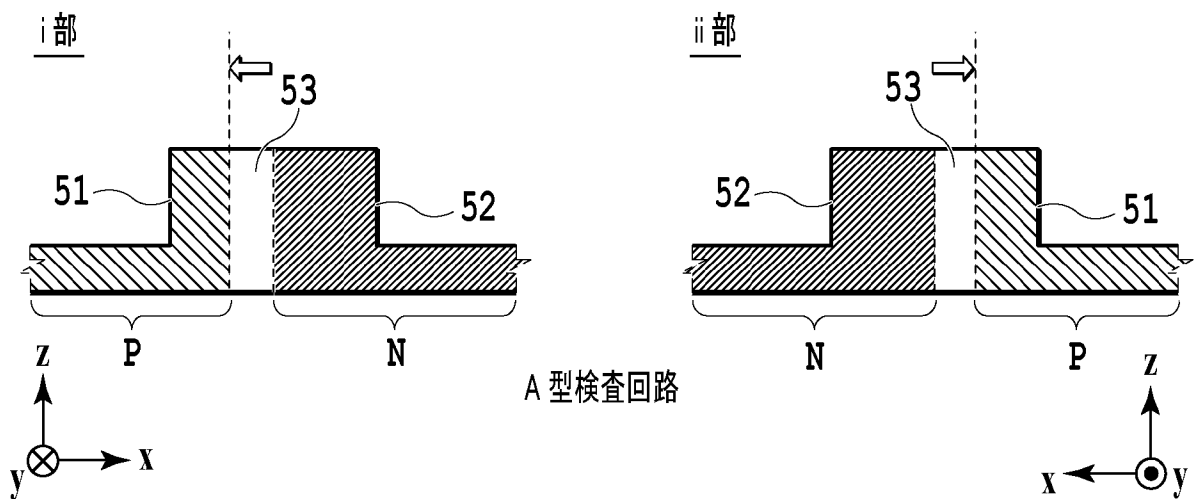


[図9]

(a)

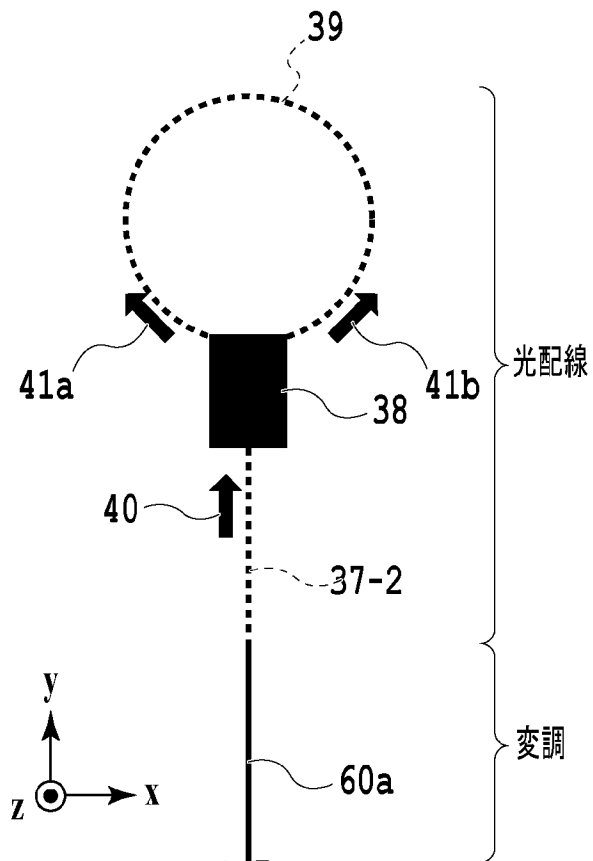


(b) Pマスク-x方向ズレ

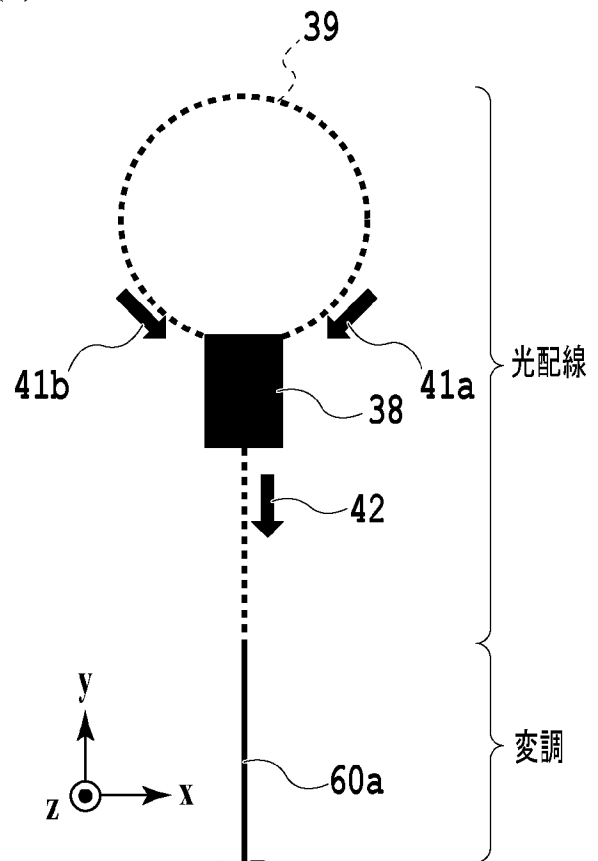


[図10]

(a)

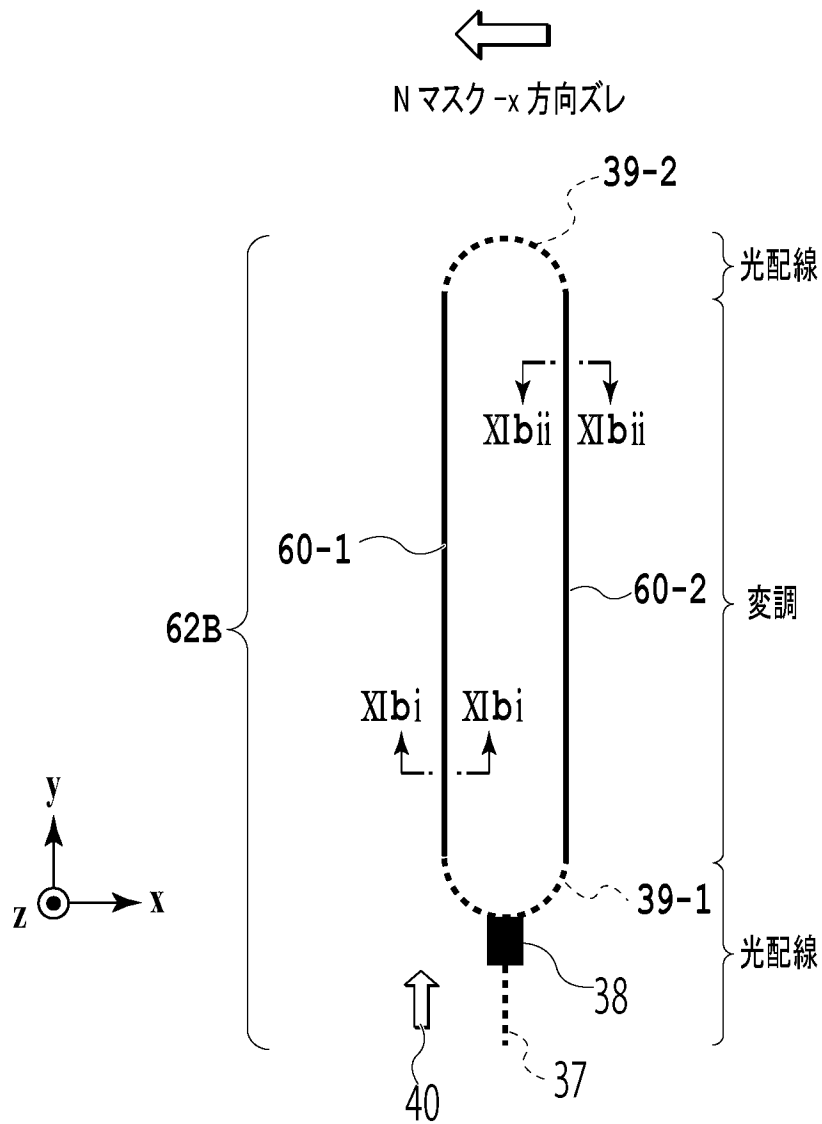


(b)

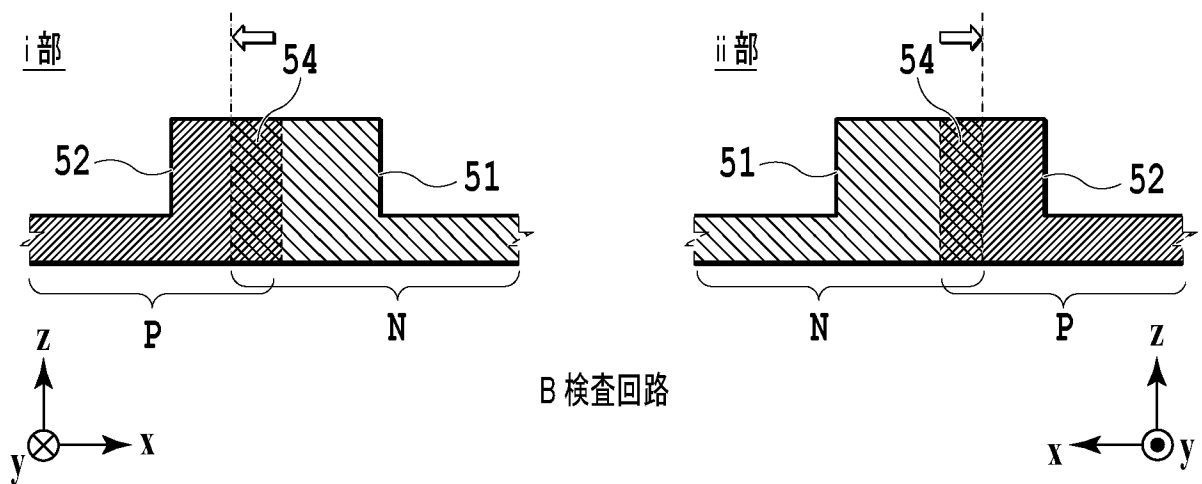


[図11]

(a)

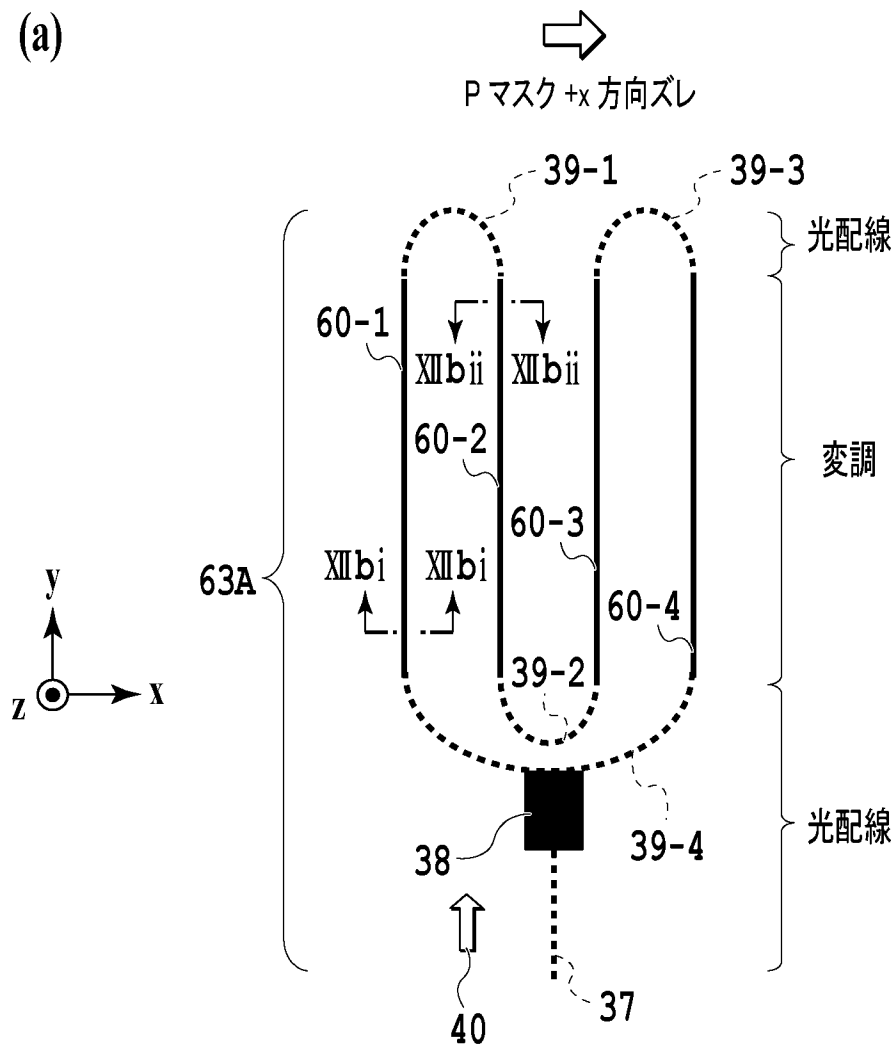


(b) Nマスク -x 方向ズレ

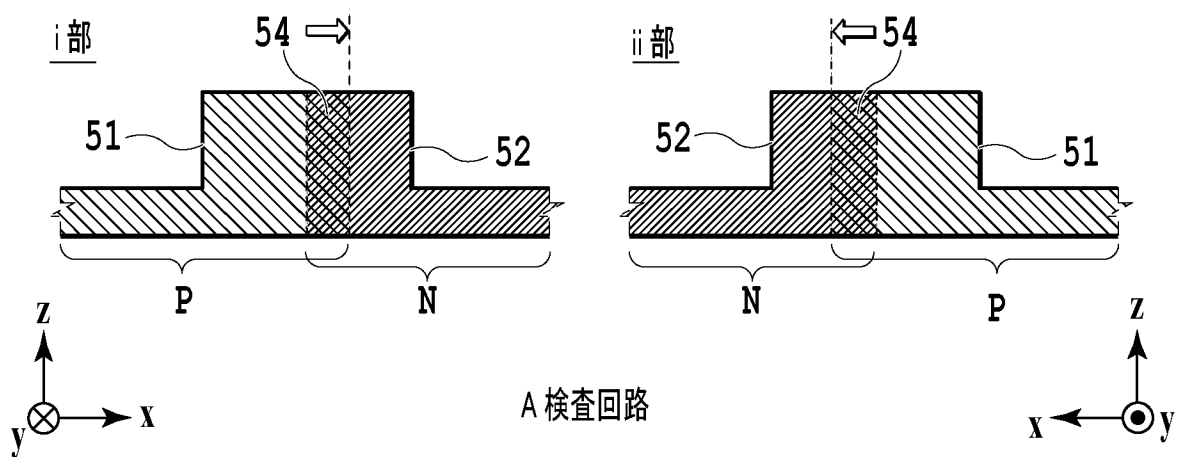


[図12]

(a)



(b) Pマスク +x 方向ズレ



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/019836

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02F 1/025**(2006.01)i; **G01M 11/00**(2006.01)i; **G02B 6/12**(2006.01)i; **G02B 6/125**(2006.01)i

FI: G02F1/025; G02B6/12 361; G02B6/125; G01M11/00 T

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)

G02F1/025; G01M11/00; 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 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
A	JP 2013-47721 A (FUJIKURA LTD.) 07 March 2013 (2013-03-07) entire text, all drawings	1-7
A	WO 2017/085934 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 26 May 2017 (2017-05-26) entire text, all drawings	1-7
A	JP 8-210946 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 20 August 1996 (1996-08-20) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2001-83040 A (HITACHI CABLE LTD) 30 March 2001 (2001-03-30) entire text, all drawings	1-7
A	US 2020/0209704 A1 (LUXTERA, LLC.) 02 July 2020 (2020-07-02) entire text, all drawings	1-7

☐ 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

17 June 2022

Date of mailing of the international search report

05 July 2022

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/JP2022/019836

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2013-47721	A	07 March 2013	(Family: none)	
WO	2017/085934	A1	26 May 2017	US 2018/0335365 A1	
				entire text, all drawings	
				EP 3379306 A1	
				CN 108351469 A	
JP	8-210946	A	20 August 1996	(Family: none)	
JP	2001-83040	A	30 March 2001	(Family: none)	
US	2020/0209704	A1	02 July 2020	WO 2020/142491 A1	
				EP 3906391 A1	

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; G01M 11/00(2006.01)i; G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/125(2006.01)i FI: G02F1/025; G02B6/12 361; G02B6/125; G01M11/00 T														
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）） G02F1/025; G01M11/00; 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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												
A	JP 2013-47721 A（株式会社フジクラ）07.03.2013（2013 - 03 - 07） 全文, 全図	1-7												
A	WO 2017/085934 A1（日本電信電話株式会社）26.05.2017（2017 - 05 - 26） 全文, 全図	1-7												
A	JP 8-210946 A（住友大阪セメント株式会社）20.08.1996（1996 - 08 - 20） 全文, 全図	1-7												
A	JP 2001-83040 A（日立電線株式会社）30.03.2001（2001 - 03 - 30） 全文, 全図	1-7												
A	US 2020/0209704 A1（LUXTERA, LLC.）02.07.2020（2020 - 07 - 02） 全文, 全図	1-7												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 17.06.2022	国際調査報告の発送日 05.07.2022													
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/JP2022/019836

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2013-47721	A	07.03.2013	(ファミリーなし)	
WO	2017/085934	A1	26.05.2017	US 2018/0335365	A1
				全文, 全図	
				EP 3379306	A1
				CN 108351469	A
JP	8-210946	A	20.08.1996	(ファミリーなし)	
JP	2001-83040	A	30.03.2001	(ファミリーなし)	
US	2020/0209704	A1	02.07.2020	WO 2020/142491	A1
				EP 3906391	A1