

(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
2022年12月1日(01.12.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/249283 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/025 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/019813

(22) 国際出願日: 2021年5月25日(25.05.2021)

(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:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者:高林 正和(TAKABAYASHI, Masakazu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木

洋介(SUZUKI, Yosuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西川 智志(NISHIKAWA, Satoshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 秋山 浩一(AKIYAMA, Koichi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

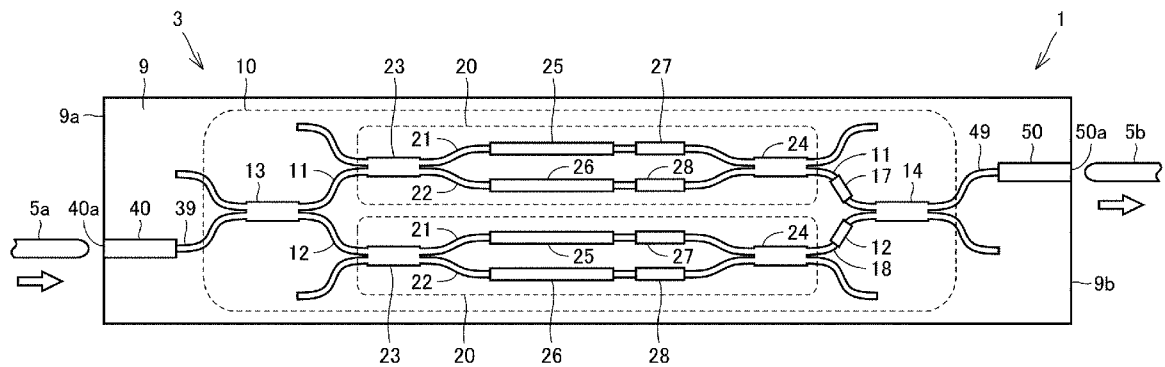
(74) 代理人:弁理士法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

(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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR OPTICAL PHASE MODULATOR AND METHOD FOR INSPECTING SAME

(54) 発明の名称: 半導体光位相変調器及びその検査方法

[図1]



(57) Abstract: A semiconductor optical phase modulator (1) is provided with: an optical phase modulation element (3); a first semiconductor optical amplifier (40) that amplifies light inputted to the optical phase modulation element (3); and a second semiconductor optical amplifier (50) that amplifies modulation signal light outputted from the optical phase modulation element (3). An optical input end of the semiconductor optical phase modulator (1) is an optical input end surface (40a) of the first semiconductor optical amplifier (40). An optical output end of the semiconductor optical phase modulator (1) is an optical output end surface (50a) of the second semiconductor optical amplifier (50).

(57) 要約: 半導体光位相変調器 (1) は、光位相変調素子 (3) と、光位相変調素子 (3) に入力される光を増幅する第一半導体光増幅器 (40) と、光位相変調素子 (3) から出力される変調信号光を増幅する第二半導体光増幅器 (50) とを備える。半導体光位相変調器 (1) の光入力端は、第一半導体光増幅器 (40) の光入力端面 (40a) である。半導体光位相変調器 (1) の光出力端は、第二半導体光増幅器 (50) の光出力端面 (50a) である。

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, 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, IR, IS, IT, 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, 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))

明 細 書

発明の名称：半導体光位相変調器及びその検査方法

技術分野

[0001] 本開示は、半導体光位相変調器及びその検査方法に関する。

背景技術

[0002] 特許第6541898号公報（特許文献1）は、光位相変調器を開示している。この光位相変調器は、QPSK位相変調器と、QPSK位相変調器の入力に配置されている第一半導体光増幅器と、QPSK位相変調器の出力に配置されている第二半導体光増幅器とを備えている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第6541898号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 光位相変調器に光を入力するために、光位相変調器の光入力端は、入力光ファイバに光学的に結合される。光位相変調器で生成された変調信号光を伝送するために、光位相変調器の光出力端は、出力光ファイバに光学的に結合される。しかし、特許文献1に開示されている光位相変調器では、光位相変調器の光入力端と第一半導体光増幅器との間に入力受動導波路が形成されているとともに、光位相変調器の光出力端と第二半導体光増幅器との間に出力受動導波路が形成されている。入力受動導波路及び出力受動導波路の各々の光閉じ込め係数は、第一半導体光増幅器の光閉じ込め係数より大きく、かつ、第二半導体光増幅器の光閉じ込め係数より大きい。入力受動導波路及び出力受動導波路の各々における光のモードフィールド径は小さいため、光位相変調器と入力光ファイバとの間の光結合損失、及び、光位相変調器と出力光ファイバとの間の光結合損失は大きい。

[0005] また、特許文献1に開示されている光位相変調器の検査は、以下の方法で

行われる。光位相変調器の光入力端に、検査光源と入力光ファイバを配置する。光位相変調器の光出力端に、出力光ファイバとパワーメータとを配置する。光源から放射された光を、入力光ファイバを通して、光位相変調器に入射させる。光位相変調器から出力された光を、出力光ファイバを通して、パワーメータに入射させる。パワーメータの出力が基準出力以上である場合には、光位相変調器は良品であると判断する。これに対し、パワーメータの出力が基準出力未満である場合には、光位相変調器は不良品であると判断する。このような光位相変調器の検査方法では、光位相変調器に対して、入力光ファイバ及び出力光ファイバを正確に位置合わせする必要がある。しかし、光位相変調器に対する入力光ファイバ及び出力光ファイバの位置合わせには多くの時間がかかる。

[0006] 本開示の第一の局面の目的は、光ファイバとの光結合損失を減少させることができる半導体光位相変調器を提供することである。本開示の第二の局面の目的は、半導体光位相変調器の検査時間を短縮することができる半導体光位相変調器の検査方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の半導体光位相変調器は、光位相変調素子と、光位相変調素子に入力される光を増幅する第一半導体光増幅器と、光位相変調素子から出力される変調信号光を増幅する第二半導体光増幅器とを備える。第一半導体光増幅器は、第一多重量子井戸構造を有する第一コア層を含む。光位相変調素子は、第二多重量子井戸構造を有する第二コア層を含む。第二半導体光増幅器は、第三多重量子井戸構造を有する第三コア層を含む。第一コア層の第一厚さは、第二コア層の第二厚さより小さい。第一多重量子井戸構造の第一の井戸層数は、第二多重量子井戸構造の第二の井戸層数より少ない。第三コア層の第三厚さは、第二コア層の第二厚さより小さい。第三多重量子井戸構造の第三の井戸層数は、第二多重量子井戸構造の第二の井戸層数より少ない。半導体光位相変調器の光入力端は、第一半導体光増幅器の光入力端面である。半導体光位相変調器の光出力端は、第二半導体光増幅器の光出力端面である。

[0008] 本開示の半導体光位相変調器の検査方法は、第一半導体光増幅器及び第二半導体光増幅器の一方に順バイアス電圧を印加して、第一半導体光増幅器及び第二半導体光増幅器の一方から検査光を放射させることと、第一半導体光増幅器及び第二半導体光増幅器の他方に逆バイアス電圧を印加することと、第一半導体光増幅器及び第二半導体光増幅器の他方において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較することとを備える。

発明の効果

[0009] そのため、第一半導体光増幅器の光閉じ込め係数は、光位相変調素子の光閉じ込め係数より小さく、かつ、第二半導体光増幅器の光閉じ込め係数は、光位相変調素子の光閉じ込め係数より小さい。第一半導体光増幅器及び第二半導体光増幅器の各々における光のモードフィールド径が増加する。半導体光位相変調器と入力光ファイバとの間の光結合損失と半導体光位相変調器と出力光ファイバとの間の光結合損失は、減少し得る。

[0010] 本開示の半導体光位相変調器の検査方法では、半導体光位相変調器とは別に、検査光源と、入力光ファイバと、出力光ファイバと、パワーメータとを準備する必要がなく、半導体光位相変調器に対して、検査光源と入力光ファイバと出力光ファイバとパワーメータとを位置合わせする必要がない。そのため、本開示の半導体光位相変調器の検査方法によれば、半導体光位相変調器の検査時間を短縮することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施の形態1の半導体光位相変調器の概略平面図である。

[図2]実施の形態1の半導体光位相変調器の受動導波路の概略断面図である。

[図3]実施の形態1の半導体光位相変調器の光スプリッタ及び光カップラの概略断面図である。

[図4]実施の形態1の半導体光位相変調器の位相変調部及び位相調整部の概略断面図である。

[図5]実施の形態1の半導体光位相変調器の第一半導体光増幅器の概略断面図である。

[図6]実施の形態1の半導体光位相変調器の第二半導体光増幅器の概略断面図である。

[図7]実施の形態1の半導体光位相変調装置の制御ブロック図である。

[図8]実施の形態1の半導体光位相変調器の検査方法のフローチャートを示す図である。

[図9]実施の形態2の半導体光位相変調器の概略平面図である。

[図10]実施の形態2の半導体光位相変調器のモニタ用フォトダイオードの概略断面図である。

[図11]実施の形態2の半導体光位相変調器のモニタ用フォトダイオードの概略断面図である。

[図12]実施の形態2の半導体光位相変調器の検査方法のフローチャートを示す図である。

[図13]実施の形態3の半導体光位相変調器の概略平面図である。

[図14]実施の形態3の半導体光位相変調器の第三半導体光増幅器の概略断面図である。

[図15]実施の形態3の半導体光位相変調器の検査方法のフローチャートを示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本開示の実施の形態を説明する。なお、同一の構成には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。

[0013] 実施の形態1.

図1から図6を参照して、実施の形態1の半導体光位相変調器1を説明する。半導体光位相変調器1は、光位相変調素子3と、第一半導体光増幅器40と、第二半導体光増幅器50と、基板9とを主に備える。

[0014] 基板9は、例えば、InP基板のような半導体基板である。基板9は、第一端面9aと、第二端面9bとを含む。第二端面9bは、第一端面9aとは反対側にあってもよい。光位相変調素子3と第一半導体光増幅器40と第二半導体光増幅器50とは、基板9上に形成されている。

- [0015] 光位相変調素子 3 は、例えば、四位相偏移変調 (Q P S K) が可能な I Q (In-phase Quadrature) 光変調部である。光位相変調素子 3 は、親マッハツェンダ干渉計 10 と、二つの子マッハツェンダ干渉計 20 と、位相変調部 25, 26 と、親位相調整部 17, 18 と、子位相調整部 27, 28 とを含む。親マッハツェンダ干渉計 10 と、二つの子マッハツェンダ干渉計 20 と、位相変調部 25, 26 と、親位相調整部 17, 18 と、子位相調整部 27, 28 とは、材料及び層構造において共通するコア層 (コア層 32, 42, 52) を含んでもよい。
- [0016] 親マッハツェンダ干渉計 10 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 と、光スプリッタ 13 と、光カプラ 14 とを含む。
- [0017] 図 2 に示されるように、第一アーム導波路 11, 12 は、各々、下部クラッド層 31 と、コア層 32 と、上部クラッド層 33 とを含む。第一アーム導波路 11, 12 は、絶縁保護層 37 をさらに含んでもよい。
- [0018] 下部クラッド層 31 は、基板 9 上に形成されている。下部クラッド層 31 は、例えば、 n 型 I n P 層である。コア層 32 は、下部クラッド層 31 上に形成されている。コア層 32 の屈折率は、下部クラッド層 31 の屈折率より大きく、かつ、上部クラッド層 33 の屈折率より大きい。コア層 32 は、例えば、A l G a I n A s のような半導体材料で形成されている。コア層 32 は、例えば、多重量子井戸 (MQW) 構造を有している。上部クラッド層 33 は、コア層 32 上に形成されている。上部クラッド層 33 は、例えば、 i 型 I n P 層である。第一アーム導波路 11, 12 は、各々、ハイメサ構造を有している。
- [0019] 絶縁保護層 37 が、ハイメサ構造上に形成されている。具体的には、絶縁保護層 37 は、上部クラッド層 33 の上面及び側面上と、コア層 32 の側面上と、下部クラッド層 31 上とに形成されている。絶縁保護層 37 は、酸化シリコンもしくは窒化シリコンのような無機絶縁材料、または、ベンゾシクロブテン (BCB) のような有機絶縁材料で形成されている。絶縁保護層 37 は、半導体光位相変調器 1 が半導体光位相変調器 1 の周囲雰囲気に含まれ

ている酸素または水などに接触して、酸化または変質することを防ぐ。

[0020] 光スプリッタ 13 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 と第一半導体光増幅器 40 との間に形成されている。光スプリッタ 13 は、第一半導体光増幅器 40 によって増幅された光を分波して、二本の第一アーム導波路 11, 12 に出力する。図 3 に示されるように、光スプリッタ 13 は、第一アーム導波路 11, 12 と同様に、下部クラッド層 31 と、コア層 32 と、上部クラッド層 33 とを含む。光スプリッタ 13 は、第一アーム導波路 11, 12 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有している。光スプリッタ 13 は、例えば、多モード干渉 (MMI) スプリッタである。光スプリッタ 13 は、例えば、 2×2 MMI スプリッタである。光スプリッタ 13 のコア層 32 の幅は、二本の第一アーム導波路 11, 12 の各々のコア層 32 の幅より大きい。

[0021] 光スプリッタ 13 の二つの出力ポートは、二本の第一アーム導波路 11, 12 に接続されている。光スプリッタ 13 の二つの入力ポートのうちの一方は、第一半導体光増幅器 40 に光学的に結合されている。具体的には、光導波路 39 は、光スプリッタ 13 の二つの入力ポートのうちの一方と第一半導体光増幅器 40 とに接続されている。光導波路 39 は、第一アーム導波路 11, 12 の各々と同じ構成を有している。

[0022] 光カプラ 14 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 と第二半導体光増幅器 50 との間に形成されている。光カプラ 14 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 を伝搬する光を合波して、第二半導体光増幅器 50 に向けて出力する。図 3 に示されるように、光カプラ 14 は、光スプリッタ 13 と同様に構成されている。光カプラ 14 は、光スプリッタ 13 及び第二アーム導波路と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有している。光カプラ 14 は、例えば、MMI カプラである。光カプラ 14 は、例えば、 2×2 MMI カプラである。光カプラ 14 のコア層 32 の幅は、二本の第一アーム導波路 11, 12 の各々のコア層 32 の幅より大きい。

[0023] 光カプラ 14 の二つの入力ポートは、二本の第一アーム導波路 11, 12

に接続されている。光カプラ 14 の二つの出力ポートのうちの一方は、第二半導体光増幅器 50 に光学的に結合されている。具体的には、光導波路 49 は、光カプラ 14 の二つの出力ポートのうちの一方と第二半導体光増幅器 50 とに接続されている。光導波路 49 は、第一アーム導波路 11, 12 の各々と同じ構成を有している。

[0024] 二つの子マッハツェンダ干渉計 20 は、それぞれ、二本の第一アーム導波路 11, 12 に接続されている。第一アーム導波路 11 に接続されている子マッハツェンダ干渉計 20 と位相変調部 25, 26 は、例えば、I チャンネル用のマッハツェンダ型光位相変調器を構成する。第一アーム導波路 12 に接続されている子マッハツェンダ干渉計 20 と位相変調部 25, 26 は、例えば、Q チャンネル用のマッハツェンダ型光位相変調器を構成する。子マッハツェンダ干渉計 20 は、各々、二本の第二アーム導波路 21, 22 と、光スプリッタ 23 と、光カプラ 24 とを含む。

[0025] 図 2 に示されるように、第二アーム導波路 21, 22 は、各々、第一アーム導波路 11, 12 の各々と同じ構成を有している。第二アーム導波路 21, 22 は、第一アーム導波路 11, 12 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有している。

[0026] 光スプリッタ 23 は、二本の第二アーム導波路 21, 22 と光スプリッタ 13 との間に形成されている。光スプリッタ 23 は、光スプリッタ 13 によって分波された光をさらに分波して、二本の第二アーム導波路 21, 22 に出力する。図 3 に示されるように、光スプリッタ 23 は、光スプリッタ 13 と同様に構成されている。光スプリッタ 23 は、例えば、MMI スプリッタである。光スプリッタ 23 は、例えば、2×2 MMI スプリッタである。光スプリッタ 23 の二つの出力ポートは、二本の第二アーム導波路 21, 22 に接続されている。光スプリッタ 23 の二つの入力ポートのうちの一方は、二本の第一アーム導波路 11, 12 のうちの一つに接続されている。

[0027] 光カプラ 24 は、二本の第二アーム導波路 21, 22 と光カプラ 14 との間に形成されている。光カプラ 24 は、二本の第二アーム導波路 21, 22

を伝搬する光を合波して、光カプラ 14 に向けて出力する。図 3 に示されるように、光カプラ 24 は、光カプラ 14 と同様に構成されている。光カプラ 24 は、例えば、MMI カプラである。光カプラ 24 は、例えば、 2×2 MMI カプラである。光カプラ 24 の二つの入力ポートは、二本の第二アーム導波路 21, 22 に接続されている。光カプラ 24 の二つの出力ポートのうちの一方は、二本の第一アーム導波路 11, 12 のうちの一つに接続されている。

[0028] 位相変調部 25, 26 は、二本の第二アーム導波路 21, 22 に設けられている。具体的には、位相変調部 25 は、第二アーム導波路 21 に設けられている。位相変調部 26 は、第二アーム導波路 22 に設けられている。図 4 に示されるように、位相変調部 25, 26 は、各々、下部クラッド層 31、コア層 32 及び上部クラッド層 33b に加えて、コンタクト層 34 と、電極 36 とを含む。位相変調部 25, 26 は、絶縁保護層 37 をさらに含んでもよい。位相変調部 25, 26 の上部クラッド層 33b は、例えば、p 型 InP 層である。コンタクト層 34 は、例えば、p 型 InGaAs 層、AuZn 層または AuBe 層である。電極 36 は、例えば、Ti、Au、Pt、Nb または Ni のような金属で形成されている。位相変調部 25, 26 は、例えば、ハイメサ構造を有している。

[0029] 絶縁保護層 37 が、ハイメサ構造上に形成されている。具体的には、絶縁保護層 37 は、コンタクト層 34 の側面上と、上部クラッド層 33b の側面上と、コア層 32 の側面上と、下部クラッド層 31 上に形成されている。

[0030] 親位相調整部 17, 18 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 に設けられている。具体的には、親位相調整部 17 は、第一アーム導波路 11 に設けられている。親位相調整部 18 は、第一アーム導波路 12 に設けられている。図 4 に示されるように、親位相調整部 17, 18 は、位相変調部 25, 26 と同じ構成を有している。親位相調整部 17, 18 は、位相変調部 25, 26 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有している。例えば、光カプラ 14 の入力ポートにおいて第一アーム導波路 11 から出力され

る I チャネル光信号と第一アーム導波路 12 から出力される Q チャネル光信号との間の位相差が $\pi/2$ となるように、親位相調整部 17, 18 において I チャネル光信号及び Q チャネル光信号に与えられる位相が調整される。

[0031] 子位相調整部 27, 28 は、二本の第二アーム導波路 21, 22 に設けられている。具体的には、子位相調整部 27 は、第二アーム導波路 21 に設けられている。子位相調整部 28 は、第二アーム導波路 22 に設けられている。図 4 に示されるように、子位相調整部 27, 28 は、位相変調部 25, 26 と同じ構成を有している。子位相調整部 27, 28 は、位相変調部 25, 26 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有している。

[0032] 第一半導体光増幅器 40 は、光位相変調素子 3 と基板 9 の第一端面 9a との間に形成されている。半導体光位相変調器 1 の光入力端は、第一半導体光増幅器 40 の光入力端面 40a である。第一半導体光増幅器 40 は、入力光ファイバ 5a に光学的に結合される。第一半導体光増幅器 40 の光入力端面 40a は、基板 9 の第一端面 9a に面一であってもよい。第一半導体光増幅器 40 は、光位相変調素子 3 に入力される光を増幅する。

[0033] 図 5 に示されるように、第一半導体光増幅器 40 は、下部クラッド層 41 と、コア層 42 と、上部クラッド層 43 と、電流ブロック層 45 と、コンタクト層 44a, 44b と、電極 46a, 46b とを含む。第一半導体光増幅器 40 は、絶縁保護層 37 をさらに含んでもよい。

[0034] 下部クラッド層 41 は、基板 9 上に形成されている。下部クラッド層 41 は、例えば、n 型 InP 層である。コア層 42 は、下部クラッド層 41 上に形成されている。コア層 42 の屈折率は、下部クラッド層 41 の屈折率より大きく、かつ、上部クラッド層 43 の屈折率より大きい。コア層 42 は、例えば、AlGaInAs のような半導体材料で形成されている。コア層 42 は、例えば、多重量子井戸 (MQW) 構造を有している。第一半導体光増幅器 40 のコア層 42 の厚さは、光位相変調素子 3 のコア層 32 の厚さより小さい。第一半導体光増幅器 40 のコア層 42 の井戸層数は、光位相変調素子 3 のコア層 32 の井戸層数より少ない。そのため、第一半導体光増幅器 40

の光閉じ込め係数は、光位相変調素子 3 の光閉じ込め係数より小さい。上部クラッド層 4 3 は、例えば、p 型 I n P 層である。第一半導体光増幅器 4 0 は、例えば、ハイメサ構造を有している。

[0035] 電流ブロック層 4 5 は、コア層 4 2 の両側面に形成されている。電流ブロック層 4 5 は、電極 4 6 a, 4 6 b 間を流れる電流を、コア層 4 2 に集中させる。電流ブロック層 4 5 は、例えば、p 型 I n P のような p 型半導体層 4 5 a と、n 型 I n P のような n 型半導体層 4 5 b とを含む。電流ブロック層 4 5 は、F e 添加 I n P 層のような半絶縁層であってもよい。コンタクト層 4 4 a, 4 4 b は、例えば、n 型 I n G a A s 層、A u Z n 層または A u B e 層である。電極 4 6 a, 4 6 b は、例えば、T i、A u、P t、N b または N i のような金属で形成されている。

[0036] 絶縁保護層 3 7 が、ハイメサ構造上に形成されている。具体的には、絶縁保護層 3 7 は、コンタクト層 4 4 a, 4 4 b 上と、上部クラッド層 4 3 の側面上と、電流ブロック層 4 5 の側面上と、下部クラッド層 4 1 上とに形成されている。

[0037] 第二半導体光増幅器 5 0 は、光位相変調素子 3 と基板 9 の第二端面 9 b との間に形成されている。半導体光位相変調器 1 の光出力端は、第二半導体光増幅器 5 0 の光出力端面 5 0 a である。第二半導体光増幅器 5 0 は、出力光ファイバ 5 b に光学的に結合される。第二半導体光増幅器 5 0 の光出力端面 5 0 a は、基板 9 の第二端面 9 b に面一であってもよい。第二半導体光増幅器 5 0 は、光位相変調素子 3 から出力される変調信号光を増幅する。

[0038] 第二半導体光増幅器 5 0 は、第一半導体光増幅器 4 0 と同様に構成されている。具体的には、図 6 に示されるように、第二半導体光増幅器 5 0 は、下部クラッド層 5 1 と、コア層 5 2 と、上部クラッド層 5 3 と、電流ブロック層 5 5 と、コンタクト層 5 4 a, 5 4 b と、電極 5 6 a, 5 6 b とを含む。電流ブロック層 5 5 は、例えば、p 型 I n P のような p 型半導体層 5 5 a と、n 型 I n P のような n 型半導体層 5 5 b とを含む。電流ブロック層 5 5 は、F e 添加 I n P 層のような半絶縁層であってもよい。第二半導体光増幅器

50は、絶縁保護層37をさらに含んでもよい。第一半導体光増幅器40のコア層42と第二半導体光増幅器50のコア層52とは、互いに同じ材料で形成されており、かつ、互いに同じ層構造を有してもよい。

[0039] 第二半導体光増幅器50のコア層52の厚さは、光位相変調素子3のコア層32の厚さより小さい。第二半導体光増幅器50のコア層52の井戸層数は、光位相変調素子3のコア層32の井戸層数より少ない。そのため、第二半導体光増幅器50のコア層52の光閉じ込め係数は、光位相変調素子3のコア層32の光閉じ込め係数より小さい。

[0040] 第二半導体光増幅器50の第二長さは、第一半導体光増幅器40の第一長さより短くてもよい。本明細書において、第一半導体光増幅器40の第一長さは、第一半導体光増幅器40の光入力端面40aと第一半導体光増幅器40の光出力端面との間の長さを意味し、第二半導体光増幅器50の第二長さは、第二半導体光増幅器50の光入力端面と第二半導体光増幅器50の光出力端面50aとの間の長さを意味する。

[0041] 一般に、半導体光増幅器に入射する光の強度分布に依存して、半導体光増幅器内のキャリア密度が変動する。半導体光増幅器に入射する光の強度分布は、当該光の進行方向に垂直な断面における当該光の強度分布を意味する。半導体光増幅器内のキャリア密度の変動は、半導体光増幅器内の屈折率を変動させて、半導体光増幅器によって増幅される光に位相歪みを生じさせる。より強度が大きな光が入射する第二半導体光増幅器50の第二長さを第一半導体光増幅器40の第一長さより短くすることによって、第二半導体光増幅器50が光位相変調素子3から出力される変調信号光に与える位相歪みを減少させることができる。

[0042] 図7を参照して、光位相変調装置2は、半導体光位相変調器1と、コントローラ7とを備える。半導体光位相変調器1は、コントローラ7に接続されている。コントローラ7は、位相変調部25、26に印加する電圧と、親位相調整部17、18に印加する電圧と、子位相調整部27、28に印加する電圧と、第一半導体光増幅器40に注入する電流と、第二半導体光増幅器5

0に注入する電流と、第一半導体光増幅器40に印加する電圧と、第二半導体光増幅器50に印加する電圧とを制御し得る。コントローラ7は、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較して、半導体光位相変調器1が良品であるか否かを判断し得る。コントローラ7は、例えば、プロセッサを含むマイクロコンピュータまたは電子回路である。

[0043] 本実施の形態の半導体光位相変調器1の動作を説明する。

第一半導体光増幅器40は、半導体光位相変調器1に入力される光を増幅する。位相変調部25, 26に高周波電気信号を印加して、位相変調部25, 26のコア層32の屈折率を変化させる。第一アーム導波路11に接続されている子マッハツェンダ干渉計20は、Iチャネル光信号を出力する。第一アーム導波路12に接続されている子マッハツェンダ干渉計20は、Qチャネル光信号を出力する。光カプラ14は、Iチャネル光信号とQチャネル光信号とを合波する。光位相変調素子3は、変調信号光を第二半導体光増幅器50に向けて出力する。第二半導体光増幅器50は、変調信号光を増幅する。こうして、半導体光位相変調器1は、変調信号光を出力する。

[0044] 図8を参照して、実施の形態1の半導体光位相変調器1の検査方法を説明する。

本実施の形態の半導体光位相変調器1の検査方法は、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の一方から検査光を放射させること(S1)と、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方に逆バイアス電圧を印加すること(S2)と、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較することと(S5)を備える。半導体光位相変調器1が親位相調整部17, 18と子位相調整部27, 28とを備えている場合には、本実施の形態の半導体光位相変調器1の検査方法は、子位相調整部27, 28に印加する電圧を調整すること(S3)と、親位相調整部17, 18に印加する電圧を調整すること(S4)とをさらに備える。

[0045] ステップS 1では、例えば、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の一方に順バイアス電圧を印加する。第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の一方は、増幅された自然放射光（ASE光）を放射する。このASE光は検査光として利用され、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の一方は検査光の光源として機能する。

[0046] ステップS 2では、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方に逆バイアス電圧を印加する。第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方は、検査光の強度を検出するフォトダイオードとして機能する。ステップS 2とステップS 1とは、いずれか先に行われてもよい。

[0047] ステップS 3では、子位相調整部27, 28に印加する電圧を調整する。例えば、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方で検出される検査光の強度が最大となるように、コントローラ7は、子位相調整部27, 28に印加する電圧を調整する。

[0048] ステップS 4では、親位相調整部17, 18に印加する電圧を調整する。例えば、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方で検出される検査光の強度が最大となるように、コントローラ7は、親位相調整部17, 18に印加する電圧を調整する。ステップS 3とステップS 4とは、繰り返し行われてもよい。

[0049] ステップS 5では、コントローラ7は、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較する。例えば、検査光の強度が基準光強度以上であるとき、コントローラ7は、半導体光位相変調器1が良品であると判断する。これに対し、検査光の強度が基準光強度未満であるとき、コントローラ7は、半導体光位相変調器1が不良品であると判断する。

[0050] 本実施の形態の半導体光位相変調器1及びその検査方法の効果を説明する。

本実施の形態の半導体光位相変調器1は、光位相変調素子3と、光位相変

調素子 3 に入力される光を増幅する第一半導体光増幅器 40 と、光位相変調素子 3 から出力される変調信号光を増幅する第二半導体光増幅器 50 とを備える。第一半導体光増幅器 40 は、第一多重量子井戸構造を有する第一コア層（コア層 42）を含む。光位相変調素子 3 は、第二多重量子井戸構造を有する第二コア層（コア層 32）を含む。第二半導体光増幅器 50 は、第三多重量子井戸構造を有する第三コア層（コア層 52）を含む。第一コア層の第一厚さは、第二コア層の第二厚さより小さい。第一多重量子井戸構造の第一の井戸層数は、第二多重量子井戸構造の第二の井戸層数より少ない。第三コア層の第三厚さは、第二コア層の第二厚さより小さい。第三多重量子井戸構造の第三の井戸層数は、第二多重量子井戸構造の第二の井戸層数より少ない。半導体光位相変調器 1 の光入力端は、第一半導体光増幅器 40 の光入力端面 40a である。半導体光位相変調器 1 の光出力端は、第二半導体光増幅器 50 の光出力端面 50a である。

[0051] そのため、第一半導体光増幅器 40 の光閉じ込め係数は、光位相変調素子 3 の光閉じ込め係数より小さく、かつ、第二半導体光増幅器 50 の光閉じ込め係数は、光位相変調素子 3 の光閉じ込め係数より小さい。第一半導体光増幅器 40 及び第二半導体光増幅器 50 の各々における光のモードフィールド径が増加する。半導体光位相変調器 1 と入力光ファイバ 5a との間の光結合損失と半導体光位相変調器 1 と出力光ファイバ 5b との間の光結合損失は、減少し得る。

[0052] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 は、光位相変調素子 3 と第一半導体光増幅器 40 と第二半導体光増幅器 50 とが搭載されている基板 9 をさらに備える。第一半導体光増幅器 40 の光入力端面 40a は、基板 9 の第一端面 9a に面一である。第二半導体光増幅器 50 の光出力端面 50a は、第一端面 9a とは異なる基板 9 の第二端面 9b に面一である。そのため、半導体光位相変調器 1 と入力光ファイバ 5a との間の光結合損失と半導体光位相変調器 1 と出力光ファイバ 5b との間の光結合損失は、減少し得る。

[0053] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 では、第二半導体光増幅器 50 の第

二長さは、第一半導体光増幅器 40 の第一長さより短い。そのため、第二半導体光増幅器 50 が光位相変調素子 3 から出力される変調信号光に与える位相歪みを減少させることができる。半導体光位相変調器 1 は、より高品質な位相変調信号光を出力することができる。

[0054] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 では、第一コア層（コア層 42）及び第三コア層（コア層 52）は、互いに同じ材料で形成されており、かつ、互いに同じ層構造を有している。そのため、半導体光位相変調器 1 のコア層は、二種類のコア材料で形成される。半導体光位相変調器 1 のコア層の種類が減少するため、半導体光位相変調器 1 のコストが低減し得る。

[0055] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 では、光位相変調素子 3 は、親マッハツェンダ干渉計 10 と、二つの子マッハツェンダ干渉計 20 と、位相変調部 25, 26 とを含む。親マッハツェンダ干渉計 10 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 を含む。二つの子マッハツェンダ干渉計 20 は、それぞれ、二本の第一アーム導波路 11, 12 に接続されており、かつ、二つの子マッハツェンダ干渉計 20 は、各々、二本の第二アーム導波路 21, 22 を含む。位相変調部 25, 26 は、二本の第二アーム導波路 21, 22 に設けられている。そのため、半導体光位相変調器 1 は、QPSK のような多値位相変調信号を出力することができる。

[0056] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 では、光位相変調素子 3 は、親位相調整部 17, 18 と、子位相調整部 27, 28 とをさらに含む。親位相調整部 17, 18 は、二本の第一アーム導波路 11, 12 に設けられている。子位相調整部 27, 28 は、二本の第二アーム導波路 21, 22 に設けられている。そのため、半導体光位相変調器 1 は、より高品質な多値位相変調信号を出力することができる。

[0057] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 の検査方法は、第一半導体光増幅器 40 及び第二半導体光増幅器 50 の一方に順バイアス電圧を印加して、第一半導体光増幅器 40 及び第二半導体光増幅器 50 の一方から検査光を放射させること（S1）と、第一半導体光増幅器 40 及び第二半導体光増幅器 50

の他方に逆バイアス電圧を印加すること（S2）と、第一半導体光増幅器40及び第二半導体光増幅器50の他方において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較すること（S5）を備える。

[0058] 本実施の形態の半導体光位相変調器1の検査方法では、半導体光位相変調器1とは別に、検査光源と、入力光ファイバと、出力光ファイバと、パワーメータとを準備する必要がなく、半導体光位相変調器1に対して、検査光源と入力光ファイバと出力光ファイバとパワーメータとを位置合わせする必要がない。そのため、半導体光位相変調器1の検査時間が短縮され得る。

[0059] 実施の形態2.

図9から図12を参照して、実施の形態2の半導体光位相変調器1bを説明する。本実施の形態の半導体光位相変調器1bは、実施の形態1の半導体光位相変調器1と同様の構成を備えるが、主に、以下の点で異なる。

[0060] 図9を参照して、半導体光位相変調器1bは、モニタ用フォトダイオード60と、モニタ用フォトダイオード70とをさらに備える。モニタ用フォトダイオード60は、光カプラ14の二つの出力ポートのうちの他方に光学的に結合されている。モニタ用フォトダイオード70は、光カプラ24の二つの出力ポートのうちの他方に光学的に結合されている。

[0061] 図10を参照して、モニタ用フォトダイオード60は、下部クラッド層61と、光吸収層62と、上部クラッド層63と、コンタクト層64a, 64bと、電極66a, 66bとを含む。モニタ用フォトダイオード60は、絶縁保護層37をさらに含んでもよい。

[0062] 下部クラッド層61は、基板9上に形成されている。下部クラッド層61は、例えば、n型InP層である。光吸収層62の屈折率は、下部クラッド層61の屈折率より大きく、かつ、上部クラッド層63の屈折率より大きい。光吸収層62は、例えば、AlGaInAsのような半導体材料で形成されている。光吸収層62は、例えば、多重量子井戸（MQW）構造を有している。モニタ用フォトダイオード60の光吸収層62は、第一半導体光増幅器40のコア層42及び第二半導体光増幅器50のコア層52と、同じ材料

で形成されており、かつ、同じ層構造を有してもよい。上部クラッド層 63 は、例えば、p 型 InP 層である。モニタ用フォトダイオード 60 は、例えば、ハイメサ構造を有している。

[0063] コンタクト層 64a, 64b は、例えば、n 型 InGaAs 層、AuZn 層または AuBe 層である。電極 66a, 66b は、例えば、Ti、Au、Pt、Nb または Ni のような金属で形成されている。絶縁保護層 37 が、ハイメサ構造上に形成されている。具体的には、絶縁保護層 37 は、コンタクト層 64a, 64b 上と、上部クラッド層 63 の側面上と、下部クラッド層 61 上とに形成されている。

[0064] 図 11 を参照して、モニタ用フォトダイオード 70 は、モニタ用フォトダイオード 60 と同じ構成を有している。具体的には、モニタ用フォトダイオード 70 は、各々、下部クラッド層 71 と、光吸収層 72 と、上部クラッド層 73 と、コンタクト層 74a, 74b と、電極 76a, 76b とを含む。モニタ用フォトダイオード 70 は、絶縁保護層 37 をさらに含んでもよい。モニタ用フォトダイオード 70 の光吸収層 72 は、モニタ用フォトダイオード 60 の光吸収層 62 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有している。モニタ用フォトダイオード 70 の光吸収層 72 は、第一半導体光増幅器 40 のコア層 42 及び第二半導体光増幅器 50 のコア層 52 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有してもよい。

[0065] 図 7 を参照して、本実施の形態の光位相変調装置 2 は、実施の形態 1 の光位相変調装置 2 と同様であるが、半導体光位相変調器 1 に代えて、半導体光位相変調器 1b を備えている。コントローラ 7 は、モニタ用フォトダイオード 60, 70 から検査光の強度に関する信号を受信し得る。

[0066] 図 12 を参照して、実施の形態 2 の半導体光位相変調器 1b の検査方法を説明する。本実施の形態の半導体光位相変調器 1b の検査方法は、実施の形態 1 の半導体光位相変調器 1 の検査方法と同様のステップを備えるが、主に、以下の点で異なる。本実施の形態の半導体光位相変調器 1b の検査方法は、モニタ用フォトダイオード 60, 70 に逆バイアス電圧を印加すること（

S 1 2) をさらに備える。本実施の形態の半導体光位相変調器 1 b の検査方法では、親位相調整部 1 7, 1 8 に印加する電圧を調整すること (S 4) の後に、第一半導体光増幅器 4 0 及び第二半導体光増幅器 5 0 の他方に逆バイアス電圧を印加すること (S 2) を行っている。

[0067] 具体的には、本実施の形態のステップ S 1 は、実施の形態のステップ S 1 と同じである。第一半導体光増幅器 4 0 及び第二半導体光増幅器 5 0 の一方は、検査光の光源として機能する。

[0068] ステップ S 1 2 では、モニタ用フォトダイオード 6 0, 7 0 に逆バイアス電圧を印加する。モニタ用フォトダイオード 6 0, 7 0 は、第一半導体光増幅器 4 0 及び第二半導体光増幅器 5 0 の一方から放射される検査光を検出し得る。

[0069] ステップ S 3 では、子位相調整部 2 7, 2 8 に印加する電圧を調整する。例えば、モニタ用フォトダイオード 7 0 で検出される検査光の強度が最大となるように、コントローラ 7 は、子位相調整部 2 7, 2 8 に印加する電圧を調整する。

[0070] ステップ S 4 では、親位相調整部 1 7, 1 8 に印加する電圧を調整する。例えば、モニタ用フォトダイオード 6 0 で検出される検査光の強度が最大となるように、コントローラ 7 は、親位相調整部 1 7, 1 8 に印加する電圧を調整する。

[0071] ステップ S 2 は、ステップ S 4 の後に行われる。ステップ S 2 では、第一半導体光増幅器 4 0 及び第二半導体光増幅器 5 0 の他方に逆バイアス電圧を印加する。そのため、第一半導体光増幅器 4 0 及び第二半導体光増幅器 5 0 の他方は、検査光を検出するフォトダイオードとして機能する。

[0072] ステップ S 5 は、ステップ S 2 に続いて行われる。本実施の形態のステップ S 5 は、実施の形態のステップ S 5 と同じである。

[0073] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 b の効果を説明する。

本実施の形態の半導体光位相変調器 1 b は、第一のモニタ用フォトダイオード (モニタ用フォトダイオード 6 0) と、第二のモニタ用フォトダイオード

ド（モニタ用フォトダイオード70）とをさらに備える。親マッハツェンダ干渉計10は、第一光出力ポートと第二光出力ポートとを含む第一の2×2光カプラ（光カプラ14）を含む。第一光出力ポートは、第二半導体光増幅器50に光学的に結合されている。第二光出力ポートは、第一のモニタ用フォトダイオードに光学的に結合されている。二つの子マッハツェンダ干渉計20は、各々、第三光出力ポートと第四光出力ポートとを含む第二の2×2光カプラ（光カプラ24）を含む。第三光出力ポートは、親マッハツェンダ干渉計10の二本の第一アーム導波路11、12のうちの一つに接続されている。第四光出力ポートは、第二のモニタ用フォトダイオードに光学的に結合されている。

[0074] そのため、親位相調整部17、18は、第一のモニタ用フォトダイオード（モニタ用フォトダイオード60）で検出される検出光の強度に基づいて調整され得る。子位相調整部27、28は、第二のモニタ用フォトダイオード（モニタ用フォトダイオード70）で検出される検出光の強度に基づいて調整され得る。親位相調整部17、18と子位相調整部27、28とは互いに独立して調整され得る。親位相調整部17、18は、二本の第一アーム導波路11、12の光路長をより正確に調整し得るとともに、子位相調整部27、28は、二本の第二アーム導波路21、22の光路長をより正確に調整し得る。半導体光位相変調器1bは、より高品質な位相変調信号光を出力することができる。

[0075] 本実施の形態の半導体光位相変調器1bでは、第一のモニタ用フォトダイオード（モニタ用フォトダイオード60）は、第四多重量子井戸構造を有する第一光吸収層（光吸収層62）を含む。第二のモニタ用フォトダイオード（モニタ用フォトダイオード70）は、第五多重量子井戸構造を有する第二光吸収層（光吸収層72）を含む。第一コア層（コア層42）、第三コア層（コア層52）、第一光吸収層及び第二光吸収層は、互いに、同じ材料で形成されており、かつ、互いに同じ層構造を有している。そのため、半導体光位相変調器1bのコア層及び光吸収層の種類が減少する。半導体光位相変調

器 1 b のコストが低減し得る。

[0076] 実施の形態 3.

図 1 3 及び図 1 4 を参照して、実施の形態 3 の半導体光位相変調器 1 c を説明する。本実施の形態の半導体光位相変調器 1 c は、実施の形態 1 の半導体光位相変調器 1 と同様の構成を備えるが、主に、以下の点で異なる。

[0077] 半導体光位相変調器 1 c は、第三半導体光増幅器 8 0 をさらに備える。光スプリッタ 2 3 の二つの入力ポートのうちの他方は、第三半導体光増幅器 8 0 に光学的に結合されている。

[0078] 第三半導体光増幅器 8 0 は、第一半導体光増幅器 4 0 及び第二半導体光増幅器 5 0 と同様に構成されている。具体的には、図 1 4 に示されるように、第三半導体光増幅器 8 0 は、下部クラッド層 8 1 と、コア層 8 2 と、上部クラッド層 8 3 と、電流ブロック層 8 5 と、コンタクト層 8 4 a, 8 4 b と、電極 8 6 a, 8 6 b とを含む。電流ブロック層 8 5 は、例えば、p 型 I n P のような p 型半導体層 8 5 a と、n 型 I n P のような n 型半導体層 8 5 b とを含む。電流ブロック層 8 5 は、F e 添加 I n P 層のような半絶縁層であってもよい。第三半導体光増幅器 8 0 は、絶縁保護層 3 7 をさらに含んでもよい。第三半導体光増幅器 8 0 のコア層 8 2 は、第一半導体光増幅器 4 0 のコア層 4 2 及び第二半導体光増幅器 5 0 のコア層 5 2 と、同じ材料で形成されており、かつ、同じ層構造を有してもよい。

[0079] 図 1 5 を参照して、実施の形態 3 の半導体光位相変調器 1 c の検査方法を説明する。本実施の形態の半導体光位相変調器 1 c の検査方法は、実施の形態 1 の半導体光位相変調器 1 の検査方法と同様のステップを備えるが、主に、以下の点で異なる。

[0080] 図 7 を参照して、本実施の形態の光位相変調装置 2 は、実施の形態 1 の光位相変調装置 2 と同様であるが、半導体光位相変調器 1 に代えて、半導体光位相変調器 1 c を備えている。コントローラ 7 は、さらに、第三半導体光増幅器 8 0 に注入する電流を制御し得る。

[0081] 本実施の形態の半導体光位相変調器 1 c の検査方法は、第一半導体光増幅

器 40 から第一検査光を放射させるとともに、第三半導体光増幅器 80 から第二検査光を放射させること（S21）と、第二半導体光増幅器 50 に逆バイアス電圧を印加すること（S22）と、第二半導体光増幅器 50 において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較すること（S25）とを備える。検査光の強度は、第一検査光の第一強度と第二検査光の第二強度との和である。半導体光位相変調器 1c が親位相調整部 17, 18 と子位相調整部 27, 28 とを備えている場合には、本実施の形態の半導体光位相変調器 1c の検査方法は、子位相調整部 27, 28 に印加する電圧を調整すること（S3）と、親位相調整部 17, 18 に印加する電圧を調整すること（S4）とをさらに備える。

[0082] 具体的には、ステップ S21 では、第一半導体光増幅器 40 及び第三半導体光増幅器 80 に順バイアス電圧を印加する。第一半導体光増幅器 40 及び第三半導体光増幅器 80 は、ASE 光を出力する。第一半導体光増幅器 40 から放射される ASE 光は第一検査光として利用され、第一半導体光増幅器 40 は第一検査光の第一光源として機能する。第三半導体光増幅器 80 から放射される ASE 光は第二検査光として利用され、第三半導体光増幅器 80 は第二検査光の第二光源として機能する。

[0083] ステップ S22 では、第二半導体光増幅器 50 に逆バイアス電圧を印加する。第二半導体光増幅器 50 は、検査光の強度を検出するフォトダイオードとして機能する。検査光の強度は、第一検査光の第一強度と第二検査光の第二強度との和である。

[0084] ステップ S3 では、子位相調整部 27, 28 に印加する電圧を調整する。具体的には、第二半導体光増幅器 50 で検出される検査光の強度が最大となるように、コントローラ 7 は、子位相調整部 27, 28 に印加する電圧を調整する。

[0085] ステップ S4 では、親位相調整部 17, 18 に印加する電圧を調整する。具体的には、第二半導体光増幅器 50 で検出される検査光の強度が最大となるように、コントローラ 7 は、親位相調整部 17, 18 に印加する電圧を調

整する。ステップS 3とステップS 4とは、繰り返し行われてもよい。

[0086] ステップS 2 5では、コントローラ7は、第二半導体光増幅器5 0において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較する。例えば、検査光の強度が基準光強度以上であるとき、コントローラ7は、半導体光位相変調器1 cが良品であると判断する。これに対し、検査光の強度が基準光強度未満であるとき、コントローラ7は、半導体光位相変調器1 cが不良品であると判断する。

[0087] 本実施の形態の半導体光位相変調器1 c及びその検査方法の効果を説明する。

本実施の形態の半導体光位相変調器1 cは、第三半導体光増幅器8 0をさらに備える。二つの子マッハツェンダ干渉計2 0は、各々、第三光入力ポートと第四光入力ポートとを含む第二の2×2光スプリッタ（光スプリッタ2 3）を含む。第三光入力ポートは、親マッハツェンダ干渉計1 0の二本の第一アーム導波路1 1, 1 2のうちの一つに接続されている。第四光入力ポートは、第三半導体光増幅器8 0に光学的に結合されている。

[0088] 検査光は、第一半導体光増幅器4 0だけでなく第三半導体光増幅器8 0からも供給される。フォトダイオードとして機能し得る第二半導体光増幅器5 0において検出される検査光の光強度が増加する。半導体光位相変調器1 cは、より高い精度で検査され得る。

[0089] 本実施の形態の半導体光位相変調器1 cの検査方法は、第一半導体光増幅器4 0及び第三半導体光増幅器8 0に順バイアス電圧を印加して、第一半導体光増幅器4 0から第一検査光を放射させるとともに、第三半導体光増幅器8 0から第二検査光を放射させること（S 2 1）と、第二半導体光増幅器5 0に逆バイアス電圧を印加すること（S 2 2）と、第二半導体光増幅器5 0において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較すること（S 2 5）とを備える。検査光の強度は、第一検査光の第一強度と第二検査光の第二強度との和である。

[0090] 検査光は、第一半導体光増幅器4 0だけでなく第三半導体光増幅器8 0か

らも供給される。フォトダイオードとして機能し得る第二半導体光増幅器 50 において検出される検査光の光強度が増加する。半導体光位相変調器 1c は、より高い精度で検査され得る。

[0091] 今回開示された実施の形態 1 から実施の形態 3 はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。矛盾のない限り、今回開示された実施の形態 1 から実施の形態 3 の少なくとも 2 つを組み合わせてもよい。本開示の範囲は、上記した説明ではなく請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることを意図される。

符号の説明

[0092] 1, 1b, 1c 半導体光位相変調器、2 光位相変調装置、3 光位相変調素子、5a 入力光ファイバ、5b 出力光ファイバ、7 コントローラ、9 基板、9a 第一端面、9b 第二端面、10 親マッハツェンダ干渉計、11, 12 第一アーム導波路、13, 23 光スプリッタ、14, 24 光カップラ、17, 18 親位相調整部、20 子マッハツェンダ干渉計、21, 22 第二アーム導波路、25, 26 位相変調部、27, 28 子位相調整部、31, 41, 51, 61, 71, 81 下部クラッド層 32, 42, 52, 82 コア層、33, 33b, 43, 53, 63, 73, 83 上部クラッド層、34, 44a, 44b, 54a, 54b, 64a, 64b, 74a, 74b, 84a, 84b コンタクト層、36, 46a, 46b, 56a, 56b, 66a, 66b, 76a, 76b, 86a, 86b 電極、37 絶縁保護層、39, 49 光導波路、40 第一半導体光増幅器、40a 光入力端面、45, 55, 65, 75, 85 電流ブロック層、45a, 55a, 85a p型半導体層、45b, 55b, 85b n型半導体層、50 第二半導体光増幅器、50a 光出力端面、60, 70 モニタ用フォトダイオード、62, 72 光吸収層、80 第三半導体光増幅器。

請求の範囲

[請求項1]

光位相変調素子と、
前記光位相変調素子に入力される光を増幅する第一半導体光増幅器と、
前記光位相変調素子から出力される変調信号光を増幅する第二半導体光増幅器とを備える半導体光位相変調器において、
前記第一半導体光増幅器は、第一多重量子井戸構造を有する第一コア層を含み、
前記光位相変調素子は、第二多重量子井戸構造を有する第二コア層を含み、
前記第二半導体光増幅器は、第三多重量子井戸構造を有する第三コア層を含み、
前記第一コア層の第一厚さは、前記第二コア層の第二厚さより小さく、
前記第一多重量子井戸構造の第一の井戸層数は、前記第二多重量子井戸構造の第二の井戸層数より少なく、
前記第三コア層の第三厚さは、前記第二コア層の前記第二厚さより小さく、
前記第三多重量子井戸構造の第三の井戸層数は、前記第二多重量子井戸構造の前記第二の井戸層数より少なく、
前記半導体光位相変調器の光入力端は、前記第一半導体光増幅器の光入力端面であり、
前記半導体光位相変調器の光出力端は、前記第二半導体光増幅器の光出力端面である、半導体光位相変調器。

[請求項2]

前記光位相変調素子と前記第一半導体光増幅器と前記第二半導体光増幅器とが搭載されている基板をさらに備え、
前記第一半導体光増幅器の前記光入力端面は、前記基板の第一端面に面一であり、

前記第二半導体光増幅器の前記光出力端面は、前記第一端面とは異なる前記基板の第二端面に面一である、請求項 1 に記載の半導体光位相変調器。

[請求項3] 前記第二半導体光増幅器の長さは、前記第一半導体光増幅器の長さより短い、請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体光位相変調器。

[請求項4] 前記第一コア層及び前記第三コア層は、互いに同じ材料で形成されており、かつ、互いに同じ層構造を有している、請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の半導体光位相変調器。

[請求項5] 前記光位相変調素子は、親マッハツェンダ干渉計と、二つの子マッハツェンダ干渉計と、位相変調部とを含み、

前記親マッハツェンダ干渉計は、二本の第一アーム導波路を含み、

前記二つの子マッハツェンダ干渉計は、それぞれ、前記二本の第一アーム導波路に接続されており、かつ、前記二つの子マッハツェンダ干渉計は、各々、二本の第二アーム導波路を含み、

前記位相変調部は、前記二本の第二アーム導波路に設けられている、請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の半導体光位相変調器。

[請求項6] 前記光位相変調素子は、親位相調整部と、子位相調整部とをさらに含み、

前記親位相調整部は、前記二本の第一アーム導波路に設けられており、

前記子位相調整部は、前記二本の第二アーム導波路に設けられている、請求項 5 に記載の半導体光位相変調器。

[請求項7] 第一のモニタ用フォトダイオードと、

第二のモニタ用フォトダイオードとをさらに備え、

前記親マッハツェンダ干渉計は、第一光出力ポートと第二光出力ポートとを含む第一の 2×2 光カプラを含み、

前記第一光出力ポートは、前記第二半導体光増幅器に光学的に結合

されており、

前記第二光出力ポートは、前記第一のモニタ用フォトダイオードに光学的に結合されており、

前記二つの子マッハツェンダ干渉計は、各々、第三光出力ポートと第四光出力ポートとを含む第二の 2×2 光カップラを含み、

前記第三光出力ポートは、前記親マッハツェンダ干渉計の前記二本の第一アーム導波路のうちの一つに接続されており、

前記第四光出力ポートは、前記第二のモニタ用フォトダイオードに光学的に結合されている、請求項6に記載の半導体光位相変調器。

[請求項8]

前記第一のモニタ用フォトダイオードは、第四多重量子井戸構造を有する第一光吸収層を含み、

前記第二のモニタ用フォトダイオードは、第五多重量子井戸構造を有する第二光吸収層を含み、

前記第一コア層、前記第三コア層、前記第一光吸収層及び前記第二光吸収層は、互いに、同じ材料で形成されており、かつ、互いに同じ層構造を有している、請求項7に記載の半導体光位相変調器。

[請求項9]

第三半導体光増幅器をさらに備え、

前記二つの子マッハツェンダ干渉計は、各々、第三光入力ポートと第四光入力ポートとを含む第二の 2×2 光スプリッタを含み、

前記第三光入力ポートは、前記親マッハツェンダ干渉計の前記二本の第一アーム導波路のうちの一つに光学的に結合されており、

前記第四光入力ポートは、前記第三半導体光増幅器に光学的に結合されている、請求項5から請求項8のいずれか一項に記載の半導体光位相変調器。

[請求項10]

前記第一半導体光増幅器及び前記第二半導体光増幅器の一方に順バイアス電圧を印加して、前記第一半導体光増幅器及び前記第二半導体光増幅器の前記一方から検査光を放射させることと、

前記第一半導体光増幅器及び前記第二半導体光増幅器の他方に逆バ

イアス電圧を印加することと、

前記第一半導体光増幅器及び前記第二半導体光増幅器の前記他方において検出される前記検査光の強度と、基準光強度とを比較することとを備える、請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の半導体光位相変調器の検査方法。

[請求項11]

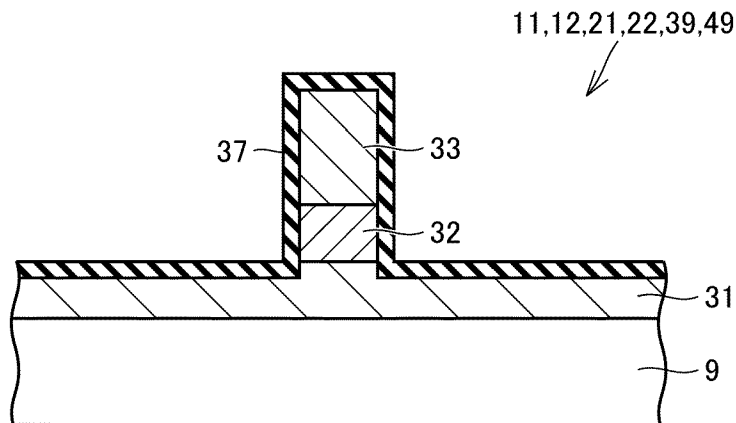
前記第一半導体光増幅器及び前記第三半導体光増幅器に順バイアス電圧を印加して、前記第一半導体光増幅器から第一検査光を放射させるとともに、前記第三半導体光増幅器から第二検査光を放射させることと、

前記第二半導体光増幅器に逆バイアス電圧を印加することと、

前記第二半導体光増幅器において検出される検査光の強度と、基準光強度とを比較することとを備え、前記検査光の前記強度は、前記第一検査光の第一強度と前記第二検査光の第二強度との和である、請求項 9 に記載の半導体光位相変調器の検査方法。

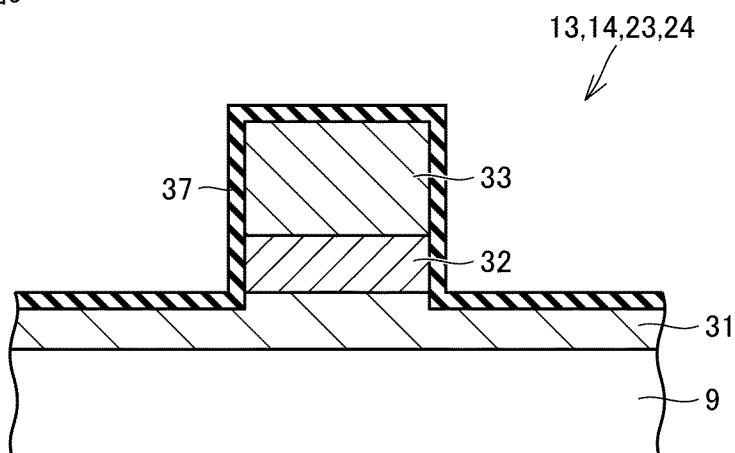
[図2]

図2



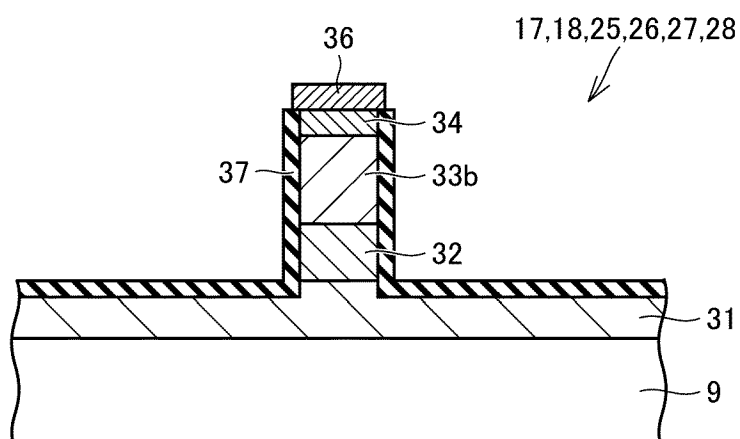
[図3]

図3



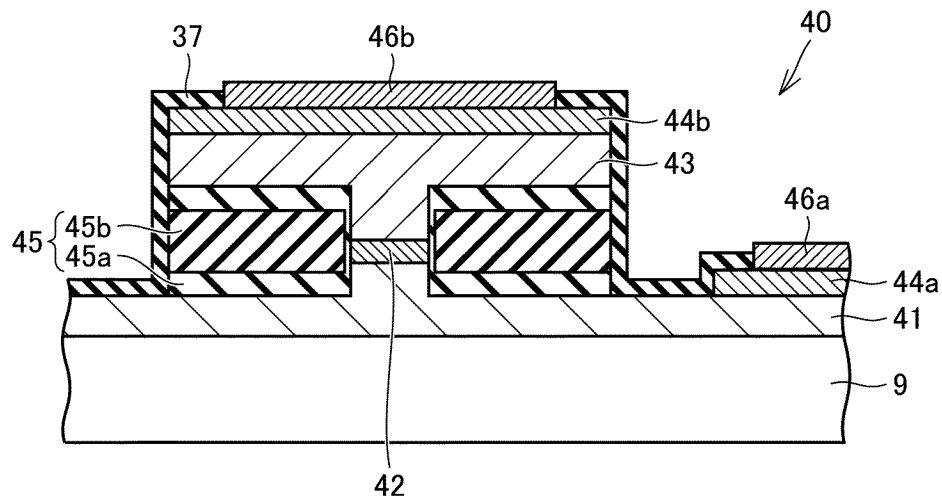
[図4]

図4



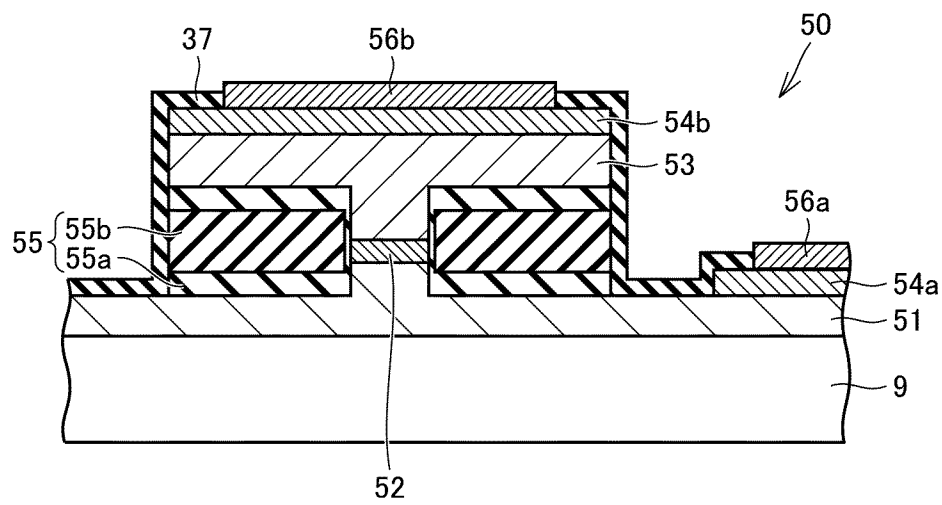
[図5]

図5



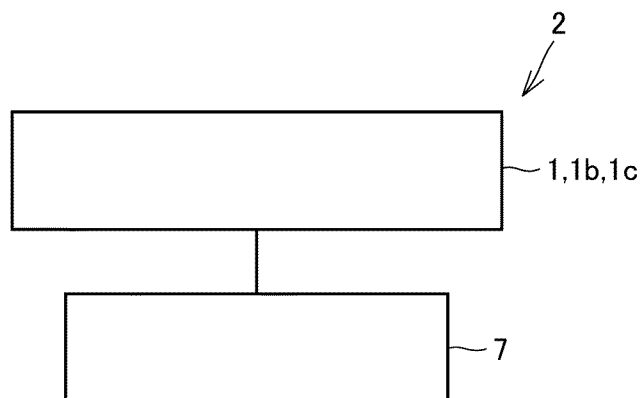
[図6]

図6



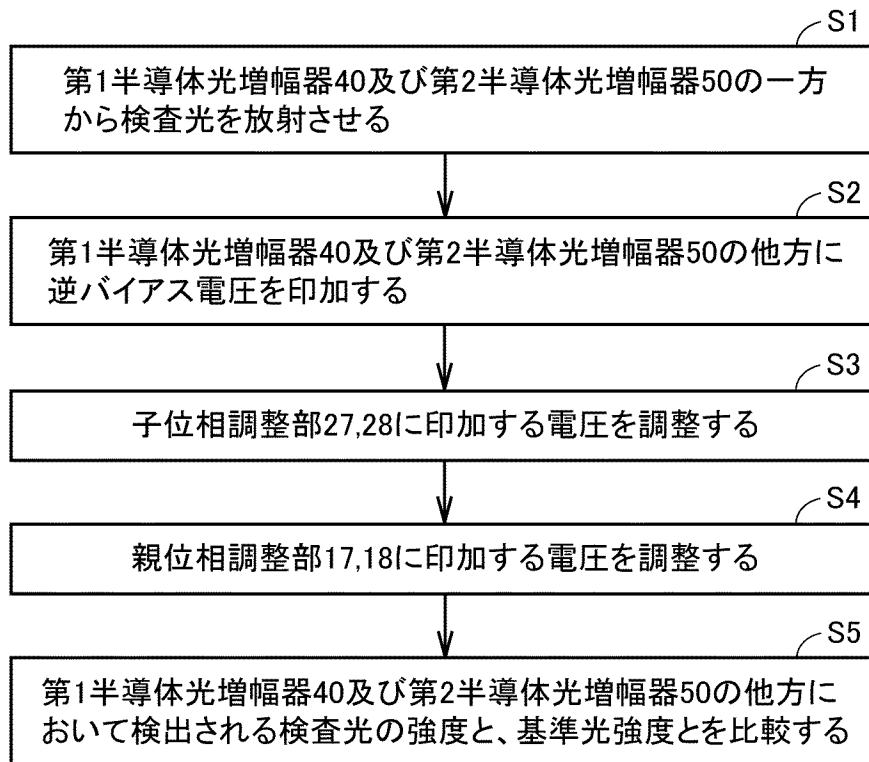
[図7]

図7



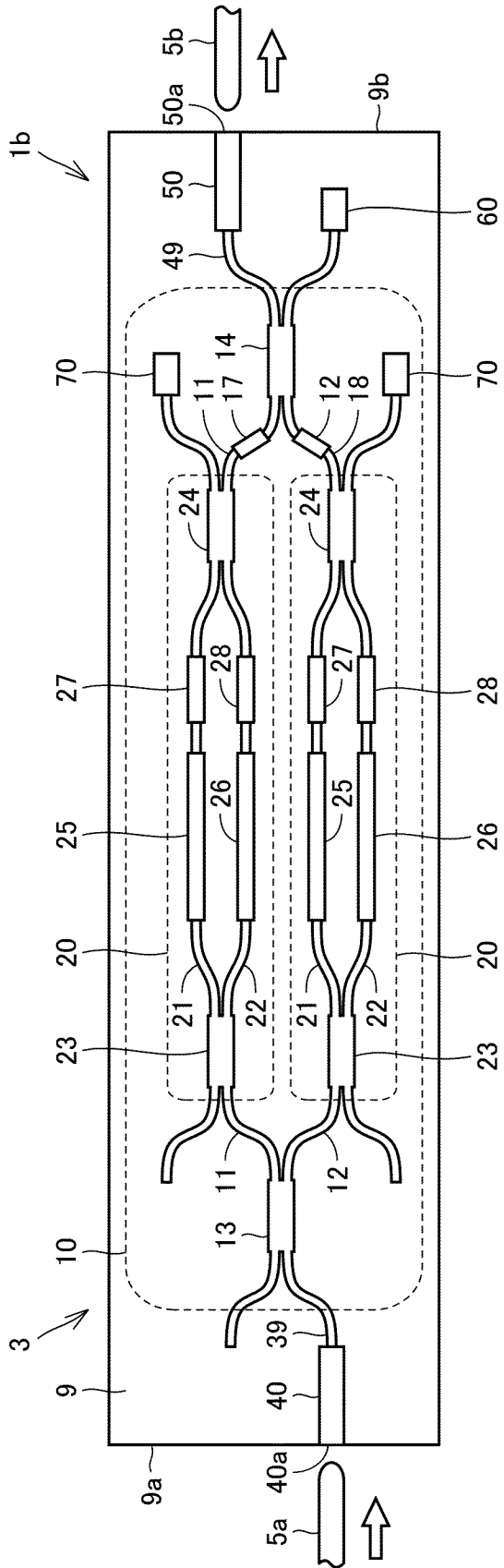
[図8]

図8



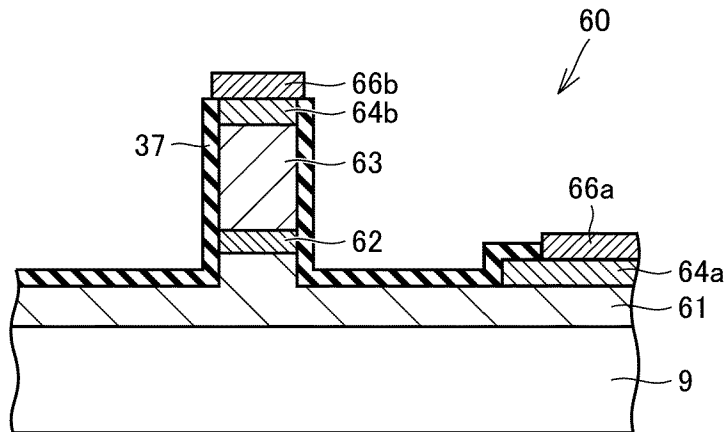
[図9]

図9



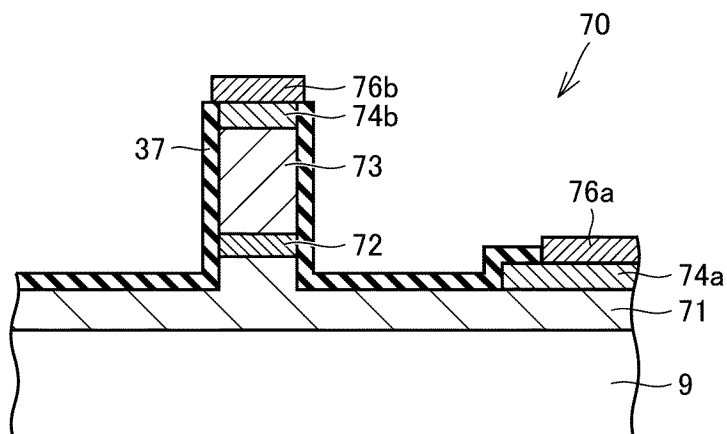
[図10]

図10



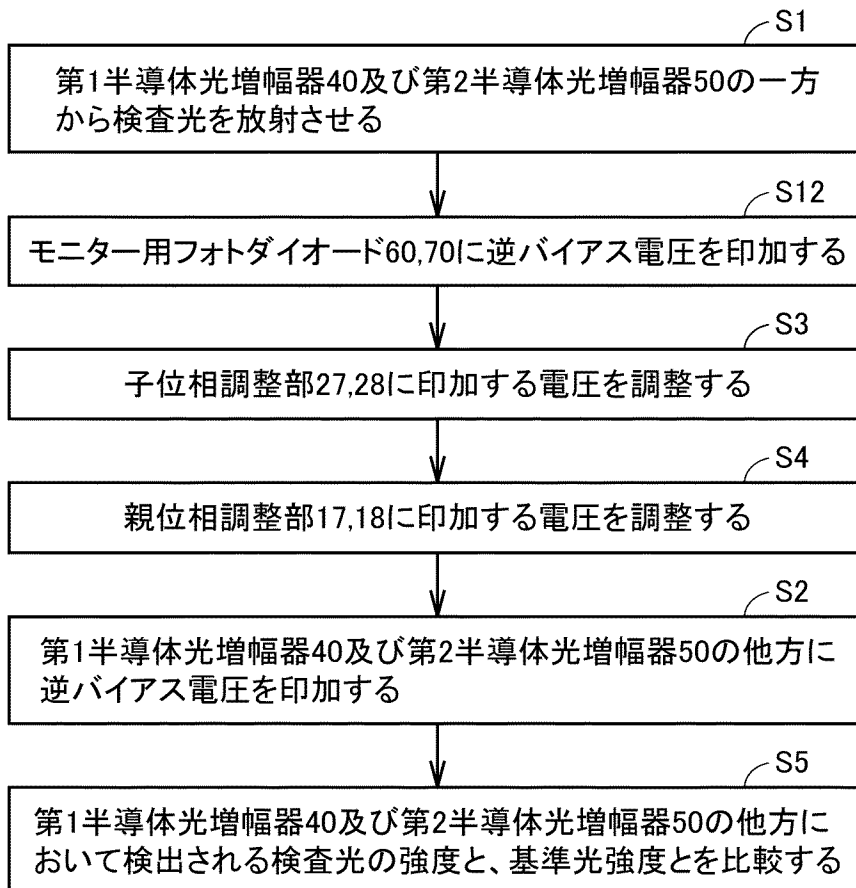
[図11]

図11



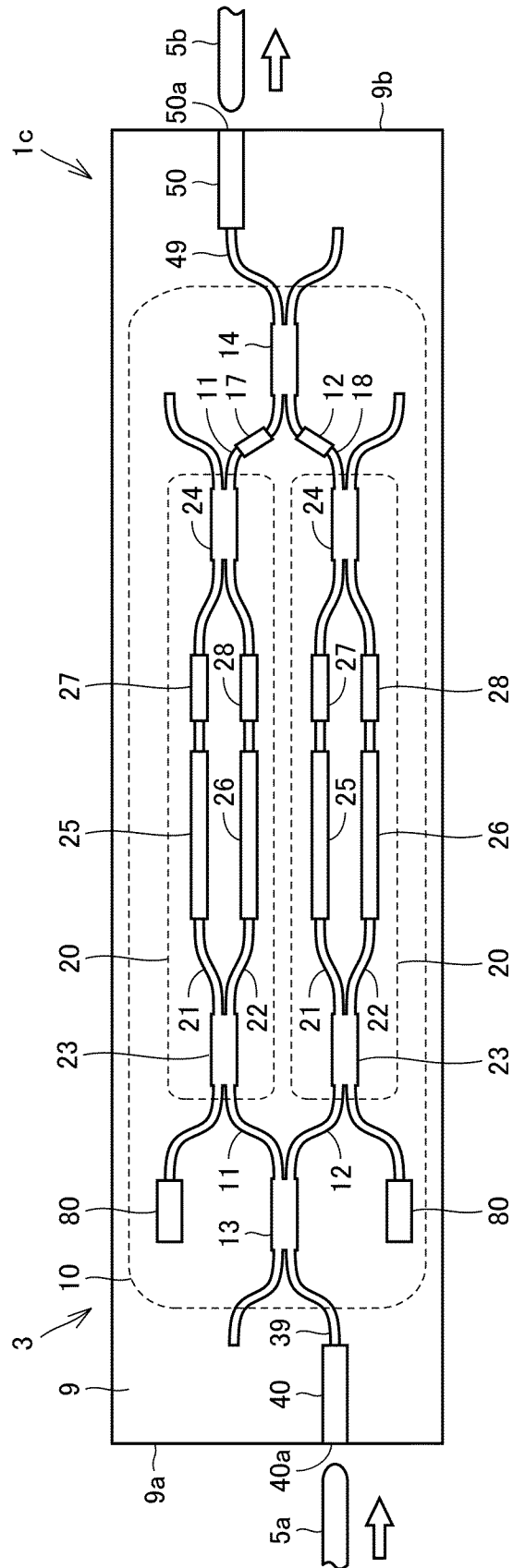
[図12]

図12



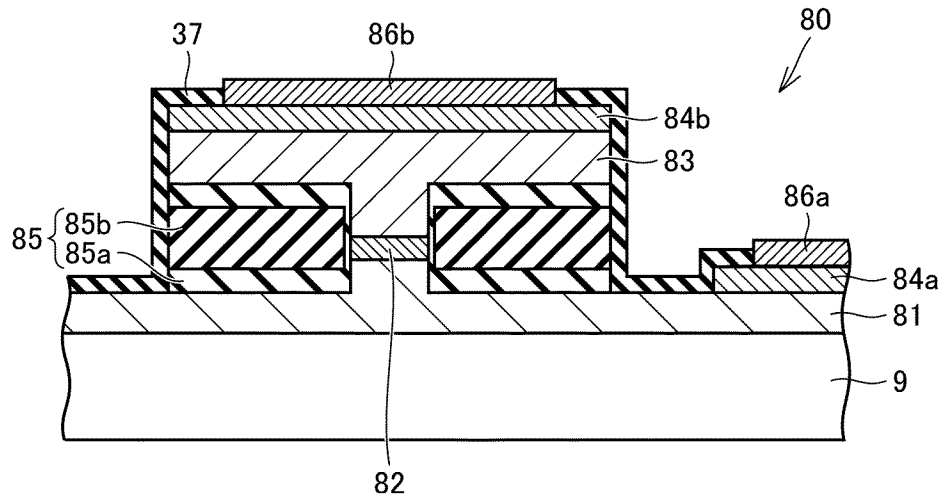
[図13]

図13



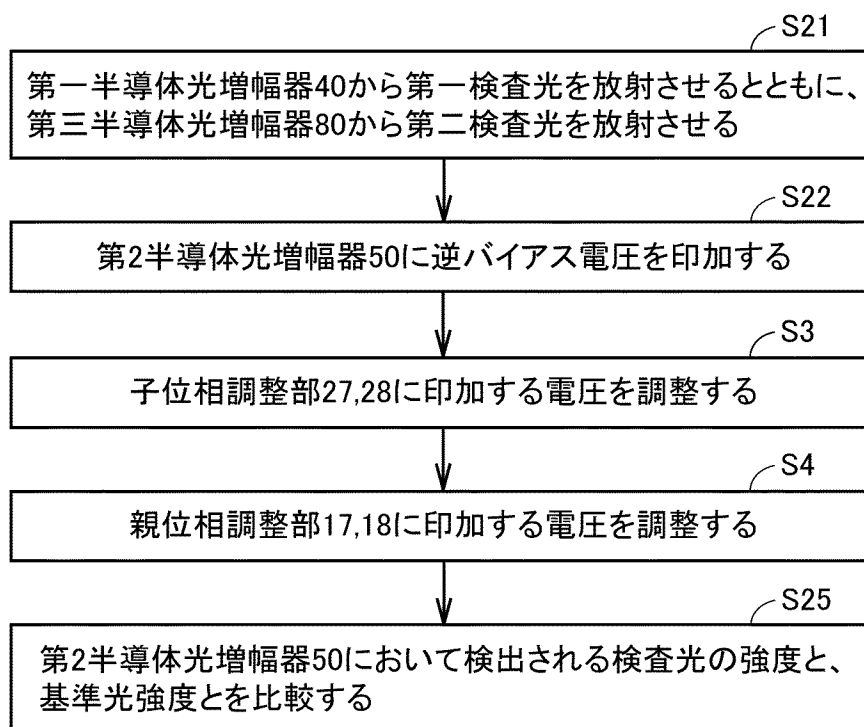
[図14]

図14



[図15]

図15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/019813

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F 1/025(2006.01)i

FI: G02F1/025

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00

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 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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.
X Y	JP 10-319454 A (ALCATEL ALSTHOM CO GENERAL ELECTRICITE) 04 December 1998 (1998-12-04) claim 6, paragraphs [0010]-[0015], [0017], [0026]-[0055], fig. 3, 5, 7	1-2, 4 3, 5-6
Y	JP 2012-004441 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 05 January 2012 (2012-01-05) paragraphs [0048], [0051], fig. 11	3
Y	JP 6541898 B2 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 10 July 2019 (2019-07-10) paragraphs [0111]-[0113], fig. 29	5-6
A	JP 2018-206899 A (FUJITSU LTD) 27 December 2018 (2018-12-27) paragraphs [0050]-[0061], fig. 11	1-11
A	US 2011/0135314 A1 (ONECHIP PHOTONICS INC) 09 June 2011 (2011-06-09) paragraphs [0014]-[0017], [0076]-[0079], fig. 5	1-11



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

26 July 2021 (26.07.2021)

Date of mailing of the international search report

10 August 2021 (10.08.2021)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

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/JP2021/019813

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 10-319454 A	04 Dec. 1998	US 6005708 A claim 6, column 1, line 39 to column 2, line 15, column 2, line 35 to column 2, line 44, column 3, line 49 to column 7, line 20, fig. 3, 5, 7 EP 871061 A1 (Family: none)	
JP 2012-004441 A	05 Jan. 2012	US 2019/0317341 A1	
JP 6541898 B2	10 Jul. 2019	paragraphs [0152]- [0155], fig. 29 WO 2018/131227 A1 CN 110168824 A (Family: none)	
JP 2018-206899 A	27 Dec. 2018	(Family: none)	
US 2011/0135314 A1	09 Jun. 2011	(Family: none)	

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 FI: G02F1/025		
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）） G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00		
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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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
X	JP 10-319454 A（アルカテル・アルストム・コンパニー・ジェネラル・デレクトリシ テ） 04.12.1998（1998-12-04） 請求項6，段落[0010]-[0015]，[0017]，[0026]-[0055]，図3，5，7	1-2，4
Y		3，5-6
Y	JP 2012-004441 A（古河電気工業株式会社） 05.01.2012（2012-01-05） 段落[0048]，[0051]，図11	3
Y	JP 6541898 B2（三菱電機株式会社） 10.07.2019（2019-07-10） 段落[0111]-[0113]，図29	5-6
A	JP 2018-206899 A（富士通株式会社） 27.12.2018（2018-12-27） 段落[0050]-[0061]，図11	1-11
A	US 2011/0135314 A1（ONECHIP PHOTONICS INC.） 09.06.2011（2011-06-09） 段落[0014]-[0017]，[0076]-[0079]，図5	1-11
☐ 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 26.07.2021		国際調査報告の発送日 10.08.2021
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） 坂上 大貴 2L 1567 電話番号 03-3581-1101 内線 3293

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/JP2021/019813

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	10-319454	A	04.12.1998	US 6005708 A 請求項6, 第1欄第39行-第2 欄第15行, 第2欄第35行-同 欄第44行, 第3欄第49行-第7 欄第20行, 図3, 5, 7 EP 871061 A1	
JP	2012-004441	A	05.01.2012	(ファミリーなし)	
JP	6541898	B2	10.07.2019	US 2019/0317341 A1 段落[0152]-[0155], 図29 WO 2018/131227 A1 CN 110168824 A	
JP	2018-206899	A	27.12.2018	(ファミリーなし)	
US	2011/0135314	A1	09.06.2011	(ファミリーなし)	