

(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
2012 年 8 月 23 日(23.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/111689 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/365 (2006.01) **G02F 1/017** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/053467
- (22) 国際出願日: 2012 年 2 月 15 日(15.02.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-033397 2011 年 2 月 18 日(18.02.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人産業技術総合研究所(NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関 1 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 秋本 良一 (AKIMOTO Ryouichi) [JP/JP]; 〒3058568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

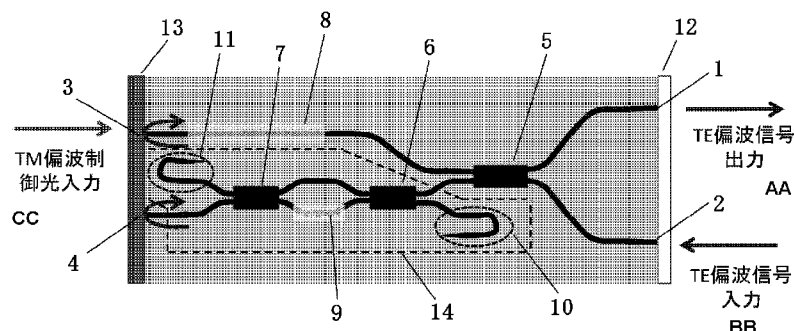
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OPTICAL GATE SWITCH

(54) 発明の名称: 光ゲートスイッチ

【図1】



AA TE polarized signal output
BB TE polarized signal input
CC TM polarized control optical input

(57) Abstract: The present invention addresses the problem of implementing a monolithic integrated type of optical gate switch which can be reduced in size by integration and can avoid the problem of optical coupling loss of an interferometer optical circuit unit and a phase modulation unit. The optical gate switch of the present invention comprises: an optical waveguide wafer the core layer of which comprises quantum wells showing a phase modulation effect produced by transitions between sub-bands; a Michelson interferometer formed on the optical waveguide wafer; and a variable optical intensity attenuation unit which adjusts the optical balance of the interferometer in one arm on the reflection side of the Michelson interferometer.

(57) 要約: 本発明は、位相変調部と干渉計光回路部の光結合損の問題を回避でき、かつ集積化による小型化が可能なモノリシック集積型の光ゲートスイッチを実現することを課題とする。本発明の光ゲートスイッチは、サブバンド間遷移による位相変調効果を示す量子井戸をコア層とする光導波路ウエハと、該光導波路ウエハ上に形成されたマイケルソン干渉計と、該マイケルソン干渉計反射側のアームの一方に干渉計の光バランスを調整するための可変光強度減衰部とを備える。



WO 2012/111689 A1

明 細 書

発明の名称：光ゲートスイッチ

技術分野

[0001] 本発明は、光ゲートスイッチに関するものである。

背景技術

[0002] InGaAs/AlAsSb半導体量子井戸のサブバンド間遷移をTM偏波光で光励起すると、吸収損のないTE偏波光に対して数ピコ秒の応答速度をもつ位相変調効果が発生することが発見された(非特許文献1参照)。この位相変調効果を応用した超高速光ゲートスイッチが本発明者らにより報告されている(非特許文献2参照)。この光ゲートスイッチでは、ミラー、偏波ビームスプリッタ等の数mmから1cm角程度のサイズをもつ光学部品を組み合わせ構成された空間光学系型のマッハーツェンダー干渉計の形態をもつ。その干渉計の一方の光路に、位相変調効果を示す量子井戸を含む光導波路を導入して光ゲートスイッチとして動作する。この光ゲートスイッチを用いて、160Gb/s光時分割多重信号の40Gb/s信号への多重分離や、160Gb/s信号の波長変換等の動作が報告され、超高速位相変調効果のデバイス応用への原理的な実証がなされている。

[0003] 空間光学系型の光ゲートスイッチは干渉計のサイズが大きいために、ゲートスイッチ動作の不安定性が問題となっている。実用上の観点から、半導体プロセス技術により、光ゲートスイッチを構成する部品を光集積回路化することにより、光ゲートスイッチを小型化することが望ましい。

[0004] サブバンド間遷移による位相変調効果を利用した光ゲートスイッチの集積化光回路の設計において、次のことに留意する必要がある。TM偏波の制御光が光導波路内を伝播する際に、サブバンド間遷移により吸収されることにより、量子井戸の屈折率が変化し、TE偏波の信号光に対して位相変調が発生する。一方、TE偏波は位相変調用の光導波路内では量子井戸内のサブバンド間及びバンド間光遷移による光減衰を受けない。このため光回路内の位

相変調をかけたい部分へTM光制御光を導波するための工夫が必要である。

[0005] 前記の観点から、本発明と類似した形態をもつデバイスとして、半導体光増幅器(SOA)における位相変調効果を利用したマイケルソン干渉計型の波長変換器が開示されている(非特許文献3、4参照)。ファイバーから射出した制御光を直接的に光導波路の位相変調部へ導入する点と、マイケルソン干渉計の反射側のアームの一方を位相変調部とする点が、本発明と類似している。

非特許文献3では、マイケルソン干渉計自体は光ファイバーやカプラにより構成されているのに対し、非特許文献4ではSOAの効果をもつ基板上にモノリシック集積化されている。これらの論文はSOAの光非線形性による位相変調効果を利用しており、サブバンド間遷移による位相変調効果を光集積化する際に必要となる技術の詳細については範囲外である。また干渉計の光路間の光強度のバランスを保つ機構が本発明と異なる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特願2010-145899号(特開2012-008430号公報)

非特許文献

[0007] 非特許文献1：Opt. Lett., vol. 32, no. 7, pp. 751-753, 2007.

非特許文献2：IEICE Trans. Electron., vol. E92-C, no. 6, pp. 187-193, 2009.

非特許文献3：Electron. Lett. 29 (1993) 2047

非特許文献4：Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 43, No. 6A, 2004, pp. 3424-3428

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 本発明と関連のある技術として、位相変調効果を示すIII-V族半導体導波路とSi細線導波路光回路を直接バット結合したハイブリッド集積化光ゲート

スイッチが、本発明者らのグループにより提案されている(特許文献1参照)。SOI(Silicon on insulator)基板上に形成されたSi細線導波路においては、コアとクラッド材料の間の屈折率差は2程度と大きく、光導波路の曲げ半径を小さくできるので、超小型の干渉計光回路を容易に実現することができるという利点がある。

この特許文献1では、Si細線導波路によるマイケルソン干渉計の反射側の一方のアームの光導波路と、位相変調効果を示すIII-V族半導体導波路を接続させることにより、位相変調部を干渉計内に導入している。信号光、制御光はともにSi細線導波路光回路側からバット接合部を通じて、III-V族半導体導波路へ導入されている。しかし、シリコン細線導波路とIII-V族半導体導波路の接続において、サブミクロン以下の位置合わせ精度が要求され、かつシリコン細線導波路とIII-V族半導体導波路の導波路モードサイズを一致させる方法が確立されておらず、実用上十分な光結合効率をとることは困難である。現在までのところ、このハイブリッド集積の形態をもつ実用的な光ゲートスイッチは実現されていない。

[0009] サブバンド間遷移による位相変調効果を利用した光ゲートスイッチで実際に高速動作が実証された前記の非特許文献2の技術では、光学部品を組みわせて作製された空間光学系型のデバイスであるため、干渉計の光路長は～10cm程度と大きい。干渉計の設置されている周囲の温度や振動などの環境変化により波長オーダーの光路長変化は容易に発生してしまう。このため光ゲートスイッチの安定化動作のため、干渉計の光路長差を一定に保つ必要があった。

具体的には、ピエゾ素子をつけたミラーによる微動機構及びその位置安定化回路が必要であり、デバイス構成が複雑になるという問題点があった。また、多数の光ゲートスイッチを同時に動作させる必要がある場合、複数の光ゲートスイッチを集積する必要がある。これまでの空間光学系の配置では、装置全体のサイズが大きくなるという問題点があった。

[0010] 上記の問題点を解決するためには、環境変化に対して安定度の高い、かつ

集積化してもサイズが小型な光ゲートスイッチの開発が課題であった。

特許文献1で開示されたシリコン光細線とIII-V族半導体導波路をハイブリッド集積した光ゲートスイッチにおいては小型化が期待できるが、位相変調を発生させるIII-V族半導体導波路と、干渉計用の光集積回路との間の高い光結合効率を得るのが難しいという問題がある。接続部による光結合損により、位相変調を生じさせるのに必要な十分な制御光パワーが、III-V族半導体導波路に位相変調部に届かず、位相変調効率が落ちる。さらに信号光は、結合部を往復する必要があるため、結合損が倍増する。以上により光ゲートで切り出された信号光に対して十分な信号/雑音比を得ることが困難である。

[0011] 本発明は、以上の状況を考慮して、位相変調部と干渉計光回路部の光結合損の問題を回避でき、かつ集積化による小型化が可能なモノリシック集積型の光ゲートスイッチを実現することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0012] 上記の課題は、以下の光ゲートスイッチによって解決される。

(1) サブバンド間遷移による位相変調効果を示す量子井戸をコア層とする光導波路ウエハと、該光導波路ウエハ上に形成されたマイケルソン干渉計と該マイケルソン干渉計反射側のアームの一方に干渉計の光バランスを調整するための可変光強度減衰部とを備えたことを特徴とする光ゲートスイッチ。

(2) 上記コア層は、上記マイケルソン干渉計の位相変調側アームの端面側の部分領域に位置する位相変調部と、バンド間遷移の吸収端波長が短波長へ移動した特性を有する領域とを、備えることを特徴とする(1)に記載の光ゲートスイッチ。

(3) 上記マイケルソン干渉計の反射側のアームの端面に、制御光を導入できるように部分反射膜を形成したことを特徴とする(1)又は(2)に記載の光ゲートスイッチ。

(4) 上記マイケルソン干渉計の信号光入出力側アーム端面に、無反射膜を形成したことを特徴とする(1)乃至(3)のいずれか1に記載の光ゲートスイッチ。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、環境変化に対して安定度の高い、かつ集積化してもサイズが小型な光ゲートスイッチが実現できる。また本発明によれば、光ゲートで切り出された信号光に対して十分な信号/雑音比を得ることができる。

また、ポート3に接続される位相変調部15以外の部分は、PあるいはAsイオン注入と急速アニールにより量子井戸混合を生じさせ、バンド間遷移の吸収端波長を短波長化すると、素子の光損失が低減でき、信号対雑音比を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の基本構成図

[図2]試作した光ゲートスイッチの光学顕微鏡写真

[図3]試作した光ゲートスイッチの動作試験中の写真

[図4]試作した光ゲートスイッチの静的ON/OFF消光特性

[図5]試作した光ゲートスイッチの動的スイッチ特性

[図6]試作した光ゲートスイッチに160Gb/s信号光を入力し、パルス列分離動作させたときに得られた40Gb/sの出力波形

[図7]実施例2の構造

発明を実施するための形態

[0015] 図1に本発明の光ゲートスイッチの構成図を示す。

光ゲートスイッチの全体の構成は以下のとおりである。

(1) 4つの入出力ポート(ポート1～4)と分岐部5によりマイケルソン干渉計を構成している。

(2) ポート1及び2は信号光入出力部であり、無反射膜12が設けられている。またポート3及び4は、信号光の反射部として働くと同時に、ポート3は制御光の入力部としての機能をもたせるために、部分反射膜13が設けられている。

(3) 分岐部5とポート4との間には、分岐部6と7、位相調整バイアス部9、減衰部10、11から構成されたマッハツェンダー干渉計からなる可

変光強度減衰部 14 が設けられている。

(4) 分岐部 5 とポート 3 との間には、位相変調用の干渉計アームとして動作すると同時に、マイケルソン干渉計の静的な位相調整バイアス部 8 が設けられている。

(5) 分岐部 6 と 7 の間の光路のうちの一方には、光強度を可変減衰させるための位相調整バイアス部 9 が設けられている。

なおこの光ゲートスイッチ光集積回路のすべての分岐部は、TE 偏波の信号光に対して 3 dB 分岐として最適に動作するように、そのサイズが設計されている。

図 7 に本発明の光ゲートスイッチの改良された構成を示す。

(6) ポート 3 に接続される位相変調部 15 以外の部分は、P あるいは As イオン注入と急速アニールにより量子井戸混合を生じさせて、バンド間遷移の吸収端波長を短波長化する。量子井戸混合の処理を行うことにより、TE 偏波信号光が光回路中を伝搬するときに生じるバンド間遷移吸収による影響を避けることができる。このため素子の光損失が低減でき、信号対雑音比を高めることができる。

[0016] 各部の詳細について以下説明する。

ポート 1 とポート 2 はそれぞれ信号入力部と出力部となるために、導波路端面はヘキカイにより形成されており、信号の反射損を抑制するために無反射膜が蒸着されている。

ポート 1 から入力された TE 偏波信号光は、分岐部 5 で等強度に分岐され、それぞれポート 3 及び 4 へと導かれる。

[0017] 分岐部 5 とポート 3 間及び分岐部 5 とポート 4 間の光路はマイケルソン干渉計の干渉アームとなるように、ポート 3 と 4 では TE 偏波信号光を反射させる必要がある。このためポート 3 と 4 はヘキカイにより端面が形成されており、部分反射膜を形成する。

ポート 3 の導波路端面を部分反射膜とすることにより、TM 偏波の制御光をポート 3 から導波路内へ導入することが可能となる。

ポート3から光導波路内に入力されたTM偏波制御光は、サブバンド間遷移吸収により急速に減衰する。このためポート3から分岐部5に至る光路内で、TM偏波制御光を完全に減衰することが理想である。この部分の光路の屈折率だけを変化させるように、光路長が設計されている。

したがって分岐部5において分岐され、ポート3で反射して分岐部5に戻ってきたTE信号光は、TM偏波制御光により発生した屈折率変化の影響を受けて、位相変調効果を受けている。

[0018] 分岐部5で分岐されポート4へ導かれたTE偏波信号は、分岐部6及び7で構成されたマッハツェンダー干渉計からなる可変光強度減衰部を通過した後、ポート4で反射して同じ経路をたどって、分岐部5へ戻る。可変光強度減衰部の目的については、後に説明する。

ポート3及び4で反射されて分岐部5に戻ってきたTE偏波の信号は、分岐部5により再び合波されるが、干渉条件に応じてポート1あるいはポート2へ導かれる。

[0019] 分岐5とポート3との間に、位相調整バイアス部8を設ける。位相調整バイアス部8は、TM偏波制御光による動的な屈折率変化以外のマイケルソン干渉計のアーム間の位相バイアスを調整するために用いる。位相調整バイアス部として、典型的には金属薄膜によるヒーターが使われる。分岐部5とポート3との間の光導波路を加熱して、その屈折率変化により位相バイアスを制御することが可能である。

[0020] 次に、可変光強度減衰部14の目的・動作について説明する。

TM偏波制御光をポート3に入力すると、制御光がサブバンド間遷移により吸収され、熱に変換される。ポート3導波路端面からTM制御光が減衰する部分までの導波路において、この発熱は生じており、この部分の導波路の温度が上昇する。その結果、半導体量子井戸のバンド間遷移による吸収端が長波長側にシフトする。このような状況において、TE偏波信号光が量子井戸のバンド間遷移の吸収端よりわずかに長波に設定されている場合には、熱効果で長波長側へシフトした量子井戸のバンド間遷移吸収を受ける。発熱によ

る効果は応答速度が遅く、10GHz程度以上の繰り返し光パルスの制御光に対して、ほとんど静的な振る舞いを示す。ポート3から反射して戻ってきた信号光のこの熱効果による静的な減衰は、マイケルソン干渉計のもう一方のアームから反射して戻ってきた光との間の光強度バランスをくずす。これは干渉度合いの低下により、光ゲートスイッチ動作時のON/OFF消光比の低下をもたらす、光ゲートスイッチ動作に支障をきたす。

[0021] このような熱効果によるマイケルソン干渉計の光強度アンバランスを補償するために、可変光強度減衰部14を用いる。可変光強度減衰部14内のマッハーツェンダー干渉計の両アームの位相バイアスが0のとき、ポート1から入力され分岐部5で分岐された後、可変減衰側のアームへ導かれたTE偏波信号光は、すべて分岐部7よりポート4へ導かれる。位相調整バイアス部9により位相差を0から少しずつしていくにつれて、一部の光が分岐部7より減衰部11へ導かれて、光強度が減衰する。このため分岐部7においてポート4へ分岐される光成分が小さくなる。さらにポート4で反射した信号光の一部が、分岐部6で減衰部10へ分岐されるために、分岐部5へ戻る光成分の強度が減少する。このようにして分岐部5から、可変光減衰部アーム側へ分岐された信号光の戻り光強度を、位相調整バイアス部9を用いて制御することができる。

[0022] (実施例1)

モノリシック集積型の光ゲートスイッチを形成するための好ましい実施例について説明する。

光集積回路を形成するためのウエハとしては、サブバンド間遷移による位相変調効果を生じさせる量子井戸構造を容易に成長させるために、InP基板を用いる。

[0023] 分子線エピタキシー法によりInP基板上にInPバッファ層を成長した後、詳細が開示されているInGaAs/AlAsSb結合二重量子井戸構造(S.Gozuら、Applied Physics Express, 2, 042201-1-3 (2009).)やこの量子井戸と同等以上の位相変調効果を示す量子井戸構造を、導波路として機

能するために必要な厚みの相当する周期程度数を成長した後、 $1\ \mu\text{m}$ 厚の上部クラッド層を成長する。上部クラッド層の材料としては、 InP 、 InAlAs 、 GaAlAsSb のいずれかの材料が用いられる。多重に積層された $\text{InGaAs}/\text{AlAsSb}$ 結合二重量子井戸層は光導波路のコア層となる。その総厚みとして $0.5\sim 0.6\ \mu\text{m}$ 程度とすると、ハイメサ型の光導波路を作製する時には適当な寸法である。

[0024] $\text{InGaAs}/\text{AlAsSb}$ 結合二重量子井戸のコア層におけるサブバンド間遷移による吸収強度に応じて、マイケルソン干渉計の位相変調側アームの長さ(ポート3から分岐部5までの光路)を決める必要がある。デバイス全体サイズの小型化の観点から、位相変調側アーム長は極力短い方が好ましい。デバイス全長を $1\ \text{mm}$ 程度にするためには、サブバンド間遷移吸収強度として $-40\ \text{dB/mm}$ 以上が好ましい。この場合、 TM 制御光は $0.5\ \text{mm}$ 伝播すると 1% 以下に光強度が減衰するため、位相変調側アームの長さは $0.5\ \text{mm}$ 以下で十分であり、デバイス全体長を $1\ \text{mm}$ にすることができる。

[0025] 波長 $1550\ \text{nm}$ における、 $\text{InGaAs}/\text{AlAsSb}$ 結合二重量子井戸層コア層の TE 偏波に対する屈折率は、 $3.3\sim 3.35$ であり、 InP は 3.16 である。この値を用いて、光集積回路を構成する光導波路のメサ幅・曲がり半径、分岐部サイズをビーム伝搬法によるシミュレーションにより決定する。光導波路としては曲がり半径を小さくすることのできるハイメサ型が好ましい。すなわち、光導波路形成時のエッチング深さとしては、量子井戸コア層の下端からさらに $0.2\sim 0.3\ \mu\text{m}$ 以上に垂直エッチングし、コア層における基板面内方向の光閉じ込めを強めた構造が好ましい。

[0026] ハイメサ型の光導波路において、前記の屈折率を用いて TE 偏波に対するシングルモード導波路の条件を計算すると、メサ幅は約 $2\ \mu\text{m}$ 以下となる。後に述べる好ましい分岐部の実施例では、 MMI (multi-mode-interference) カプラを採用したが、 MMI の幅を $8.4\ \mu\text{m}$ とすると MMI の長さは $102\ \mu\text{m}$ に短くできる。このとき分岐部に接続された2本の光導波路の間隔を $2.8\ \mu\text{m}$ とする必要があるために、接続導波路間のギャップの加工精度を考慮し

て、導波路メサ幅として $1.6 \mu\text{m}$ を採用した。

上記の光導波路用のウエハに対して、通常の半導体プロセスを用いて図 1 に示した分岐部 5 ～ 7、減衰部 10、11、分岐部をつなぐ接続用の光導波路をドライエッチング法により形成する。

[0027] 好ましい分岐部の実施例として、MMI による 3 dB カプラが用いられる。分岐部の他の候補としては方向性結合器が用いられても良い。しかしシミュレーションの結果及び製造の容易性を考慮すると、3 dB カプラの効果となる方向性結合器と MMI の長さを比較すると、MMI の方が短い長さで、3 dB カプラを実現できることがわかった。このため、特殊な事情がない限り MMI カプラを用いることが好ましい。MMI カプラに接続できるシングルモード導波路の幅、接続導波路間のギャップ加工精度、デバイス全体長を 1 mm 程度にするために必要な MMI 長を考慮して、MMI 幅 $8.4 \mu\text{m}$ 、MMI 長 $102 \mu\text{m}$ とした。

[0028] 可変光強度減衰部 14 を構成する減衰部 10 及び 11 について説明する。

可変強度減衰部 14 が正常に動作するためには、減衰部に導かれた信号光が効率よく減衰し、反射光として戻らないようにする必要がある。本実施例では、曲げ半径 $10 \mu\text{m}$ の U 字導波路を設けることにより、光導波路内の光を曲げ損失により外部へ放射させるようにした。また U 字導波路の終端に U 字導波路を終端まで伝搬した信号光を減衰させるために、U 字導波路の終端にテーパ導波路を接続した。導波路の幅を $1.6 \mu\text{m}$ からモードカットオフサイズ以下の $0.3 \mu\text{m}$ まで断熱的に減少させて、信号光の減衰を図った。

[0029] ドライエッチングにより光回路を形成した後、光導波路となる部分はメサ構造となり、基板上部のエッチング面よりとびだした構造をもつ。メサの保護及び、位相調整バイアス用のヒーター電極の、メサの段差による切れを避けるために、基板上面を平坦化するのが良い。好ましい実施例としては、BCB (ベンゾサイクロブテン) などの耐熱性のある樹脂をスピコートし、平坦化を行う。好ましくは BCB とエッチング面との密着性を向上させるために、 Si_3N_4 膜をスパッタリング等により製膜した後に、BCB による平坦化

を行うのがよい。

[0030] その後、位相調整バイアス部8、9を設ける。この実施例では位相調整バイアス部8、9として、通常の半導体プロセスにより、Ti(100nm)/Au(100nm)によりヒーター及び電極用パッドを形成する。ヒーターの幅は10 μ mとした。

その後、基板の裏面をラッピングにより100 μ m程度厚にまで薄くした後、デバイスチップをヘキカイにより切り出だす。ヘキカイ端面におけるポート1～4の反射率を調整するために、ECRスパッタ装置により誘電体膜の蒸着を行う。ECRスパッタ法による誘電体膜の蒸着に際して、まずECRスパッタ装置内でヘキカイ端面をArプラズマにさらして、端面の清浄化を行った後、誘電体膜の製膜を行うのが、密着性の観点から好ましい。

[0031] 図1に示すポート1、2側の端面には無反射膜として、ZrO₂(チップ側)とSiO₂との2層膜を蒸着した。一方、ポート3、4側には、50%反射膜としてSiO₂(チップ側)とZrO₂の2層膜を蒸着した。

図2は、作製したモノリシック集積光ゲートスイッチを上部より観察した顕微鏡写真である。デバイス長1mmの中に、マイケルソン干渉計、可変光強度減衰部等が集積されている様子がわかる。

[0032] (光ゲートスイッチの特性)

実施例に従って、作製したモノリシック集積型光ゲートスイッチの特性について説明する。

図3は、ポート2より波長1560nmのTE偏波の連続波(CW)信号光を入力したときの様子を、赤外カメラと顕微鏡により撮影したとき写真である。位相調整バイアス部8、9のヒーターには電流を流していない条件で撮影した。

分岐部5で分岐された信号光が、ポート3及び4の端面まで到達し、端面でわずかに放射モードに変換された信号光が白く光っているのが確認できる。

さらに、ポート3、4から反射した光が、分岐部5で合波された後、ポー

ト1へ導かれていることが、ポート1の端面でわずかに放射モードに変換された信号光が白く光っていることにより、確認できる。

[0033] 次にマイケルソン干渉計及び、可変光強度減衰部の動作を詳しく確認するために、位相調整バイアス部8、9に電圧を印加し、ヒーターを加熱しながら、ポート1から出力される信号光の強度を測定した。

図4に、試作した光ゲートスイッチの静的ON/OFF消光特性を示す。図中内の数字は、位相調整バイアス部9の印加電圧(Volt)である。可変光減衰器内の位相バイアス調整部9の電圧が0のとき(減衰量が0)、位相調整バイアス部8の電圧を変化させると、24dBの強度変化が得られた。このことより、光ゲートスイッチの静的ON/OFF消光比が、通常の用途で要求される値(〜20dB程度)をクリアする性能であることを示している。

[0034] 次に、可変光強度減衰部内の位相調整バイアス部9の電圧を大きくしながら、位相調整バイアス部8の電圧を変化させると、ポート2から出力される信号光の干渉による、信号の変化の大きさが小さくなっていることがわかる。これは、位相調整バイアス部9の電圧を大きくしていくと、可変光減衰器が動作しはじめて、ポート4で反射されて戻ってくる光強度が減少したため、マイケルソン干渉の光強度バランスがくずれていることを示している。このようにして、可変光減衰器が問題なく動作していることを確認した。

[0035] 次に、ポート3より、TM偏波制御光(パルス繰り返し10GHz、波長1545nm、パルス幅2.4ps、パルスエネルギー8.7pJ)、ポート2よりTE偏波信号光(CW、波長1560nm)を入力して、ポート2へ戻ってきた信号光、及びポート1へ出力される信号光の時間波形を測定し、光ゲート動作を確認した結果を図5(a)(b)に示す。図5(a)はポート2へ戻った信号光、(b)はポート1へ出力された信号光を示す。なおポート2へ戻ってきた信号光を入力信号から分離するために、サーキュレーターを使用した。

図5において、100psおきにTM制御光がポート3に入射されたタイミングに応じて、ポート1より出力されたTE偏波信号光の光強度に上向きの変化(図5(b))が生じている。また図5(a)に示すように、ポート2に戻

ってきた信号光には下向きの変化が生じている。

[0036] 図5の条件では、位相調整バイアス部8の印加電圧が3.45 Vに調整されている。この位相バイアス条件において、制御光が導波路に入射されていないときには、最も強め合う干渉条件となりポート2へ最大の信号強度が戻る。一方、このときポート1の出力信号は最も弱め合う干渉条件となり、ポート1へほぼ0に近い最小強度の光信号が出力される。図5(a)及び(b)の時間波形において、平坦な信号強度を示す時間領域が、制御光が導波路に入射されていない時間領域に対応しており、ポート2及び1に対して、それぞれ最も強め合う条件と最も弱め合う条件に対応している。

上記の干渉条件に保持した状態で、制御光パルスがポート3へ入力され、サブバンド間遷移により導波路内で吸収されると、位相変調効果により、位相変調用アーム側で反射される信号光の位相が、最大で π ラジアンだけシフトする。このため、ポート2においては、干渉条件が最も弱め合う状態へと変化し、信号強度が0近くにまで減少する。その後、制御光により生じた位相変調効果が消滅すると、信号光は元の最大強度の状態へと回復する。このため、図5(a)において、下向きのパルス状の光信号強度変化が観測されている。一方、ポート1では、ポート2とは正反対の光強度の時間変化を示す。すなわち制御光パルスが入射されると、最も強め合う干渉条件へと変化し、制御光パルスの入射と同期して、最大強度の信号光が出力される。このため、図5(b)では上向きのパルス状の光強度変化が観測されている。

[0037] 図5(b)の時間波形がゲート動作の時間応答に対応している。測定されたピーク波形の半値幅は3.2 psである。一方、入力した制御光のパルスの半値幅は2 psであり、ゲート動作時間が、制御光の入力幅よりも大きい。この時間のずれはサブバンド間遷移により基底サブバンドから上位のサブバンドへ励起された電子が、基底サブバンドへ緩和するのに要する時間の分だけ遅れが生じていると考えられる。以上より、サブバンド間遷移による位相変調効果により、光ゲートスイッチが動作していることが確認できた。

[0038] 次に、超高速光時間多重方式による光伝送システムで必要となる160 G

b/s 光時間多重信号(40Gb/s の RZ (return-to-zero) 信号が4チャンネル時間多重されている)において光ゲートスイッチを動作させ、多重化されている信号の1チャンネル分を抜き出すパルス列分離の動作を行った。TE 偏波信号光として160Gb/s 信号(波長1560nm)をポート2より入力し、TM 偏波の制御光(波長1545nm, 繰り返し40GHz、パルス幅2.4ps、パルスエネルギー2.9pJ)をポート3より入力した。制御光が入力されていないとき、160Gb/s 信号がポート2から出力されないように、位相調整バイアス部8の印加電圧を1.54V_{olt}に調整した。

[0039] 図6は、ポート1より出力されたパルス列分離された40Gb/s の信号である。25ps 間隔で観測されるデータ信号間の時間領域において、光強度はノイズレベルにまで抑制されており、光時分割多重された信号の、特定のチャンネルだけが良好に分離されていることが確認された。

[0040] (実施例2)

実施例2は、実施例1の基本構成において、さらに、TE 偏波信号光に対する素子の伝搬損失を低減するための改良を行った例である。図7を参照して説明する。図7に、本発明の基本構成図(図1参照)において、位相変調部以外の導波路の信号光に対する損失を低減するための構造を示す。図7の位相変調部15の領域以外を、燐イオン注入と急速アニールにより量子井戸混合を生じさせることを行う。実施例2の構造は、実施例1と同様に製造するが、次の工程で異なる。光集積回路作製のためのウエハ上の、位相変調部15に相当する領域にSiO₂等によりマスクを作製する。次に、位相変調部15以外の領域に、たとえばPあるいはAsイオンを、ドーズ量 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 注入する。注入するイオンのエネルギーは、注入イオンの深さ方向の分布が、上部InPクラッド層の中央部付近においてピークを持つように設定する。このイオン注入に伴い上部InPクラッド層結晶中に空孔が注入される。その後、700~800℃に急速に加熱しアニールすることにより、空孔が上部クラッド層より下部にある量子井戸コア層へ拡散することにより、サブバンド間遷移を生じさせる量子井戸層と障壁層の間で原子が混

合される。このことにより、バンド間遷移の吸収端波長が短波長へ移動し、信号光の伝搬損失を低減することが可能になる。上記のイオン注入と急速アニールにより量子井戸混合を生じさせる工程の後、通常の半導体プロセスを用いて図1に示した分岐部5～7、減衰部10、11、分岐部をつなぐ接続用の光導波路をドライエッチング法により形成することができる。

[0041] 位相変調部15は、図7に示すように、上記マイケルソン干渉計の位相変調側アームの端面側の部分領域に位置する。本実施例2では、コア層は、位相変調部と、バンド間遷移の吸収端波長が短波長へ移動した特性を有する領域とを、備える。位相変調部15は、マイケルソン干渉計の位相変調側アームの長さの $1/10 \sim 1$ 、例えば $1/2$ 程度の長さにすることができる。ポート3に接続している前記位相変調部の長さは、位相変調側アームの端部(ポート3)から入射したTM波が減衰する距離に設定することが好ましいが、それより長くてもよい。バンド間遷移の吸収端波長が短波長へ移動する特性を有するコア層の領域は、上記位相変調部以外のコア層全体とすることが信号光の伝搬損失の低減の点から好ましいが、コア層の一部であっても低減の効果がある。

符号の説明

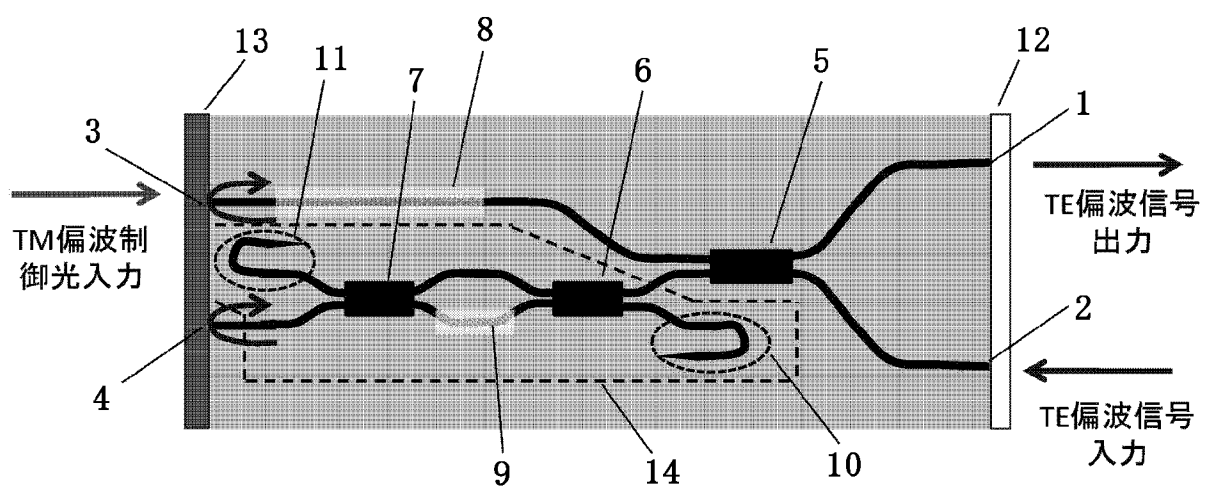
- [0042]
- 1 ポート1
 - 2 ポート2
 - 3 ポート3
 - 4 ポート4
 - 5 分岐部5
 - 6 分岐部6
 - 7 分岐部7
 - 8 位相調整バイアス部8
 - 9 位相調整バイアス部9
 - 10 減衰部10
 - 11 減衰部11

- 1 2 無反射膜 1 2
- 1 3 部分反射膜 1 3
- 1 4 可変光強度減衰部 1 4
- 1 5 位相変調部 1 5

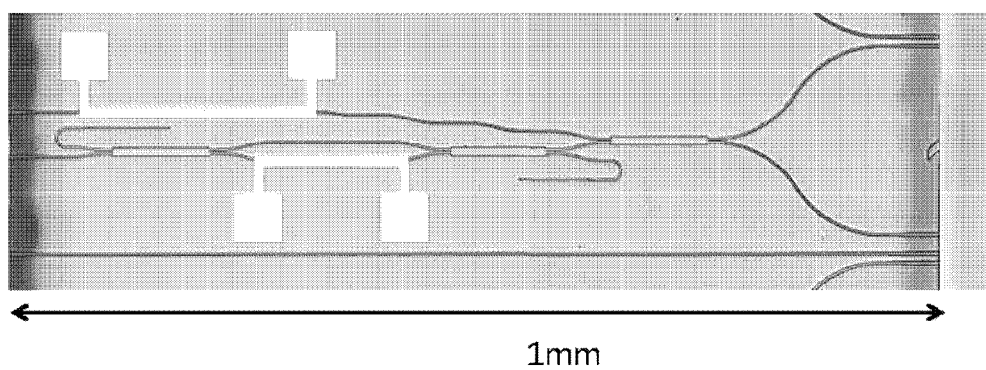
請求の範囲

- [請求項1] サブバンド間遷移による位相変調効果を示す量子井戸をコア層とする光導波路ウエハと、該光導波路ウエハ上に形成されたマイケルソン干渉計と、該マイケルソン干渉計反射側のアームの一方に干渉計の光バランスを調整するための可変光強度減衰部とを備えたことを特徴とする光ゲートスイッチ。
- [請求項2] 上記コア層は、上記マイケルソン干渉計の位相変調側アームの端面側の部分領域に位置する位相変調部と、バンド間遷移の吸収端波長が短波長へ移動した特性を有する領域とを、備えることを特徴とする請求項1記載の光ゲートスイッチ。
- [請求項3] 上記マイケルソン干渉計の反射側のアームの端面に、制御光を導入できるように部分反射膜を形成したことを特徴とする請求項1又は2に記載の光ゲートスイッチ。
- [請求項4] 上記マイケルソン干渉計の信号光入出力側アーム端面に、無反射膜を形成したことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光ゲートスイッチ。

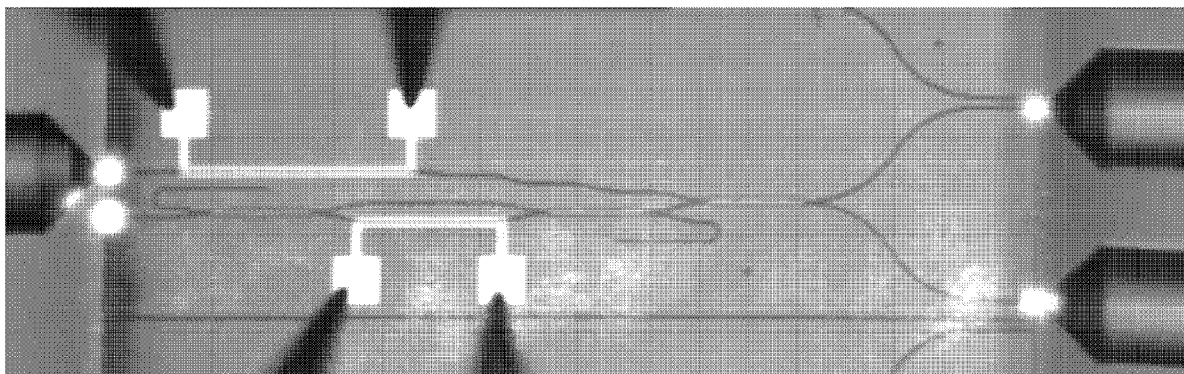
[図1]



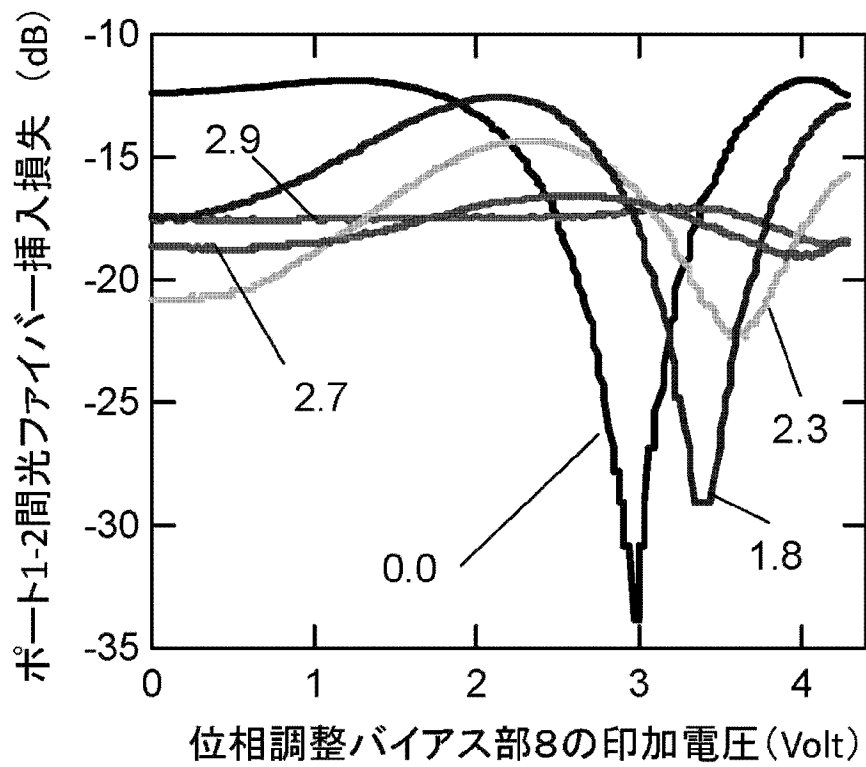
[図2]



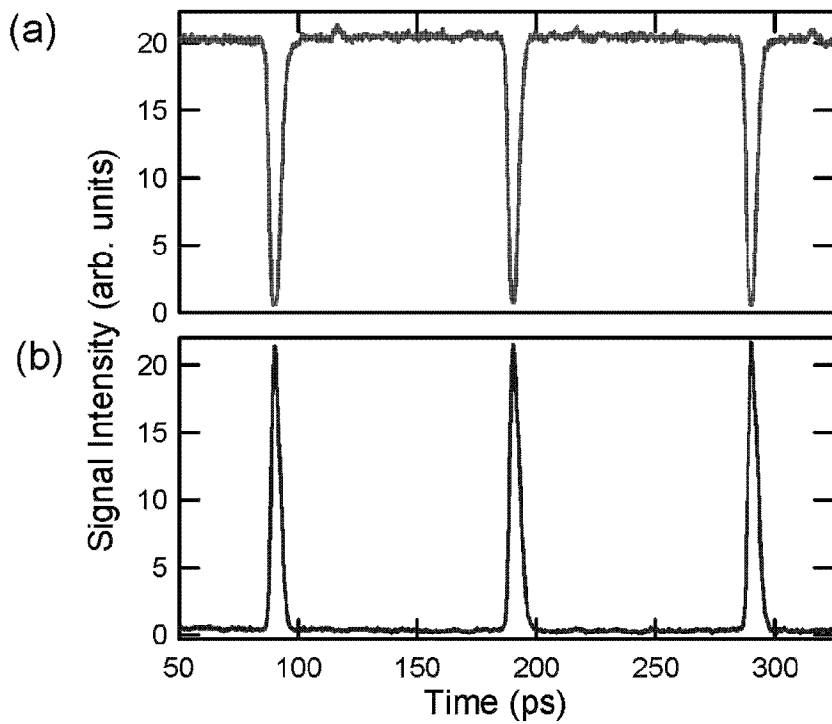
[図3]



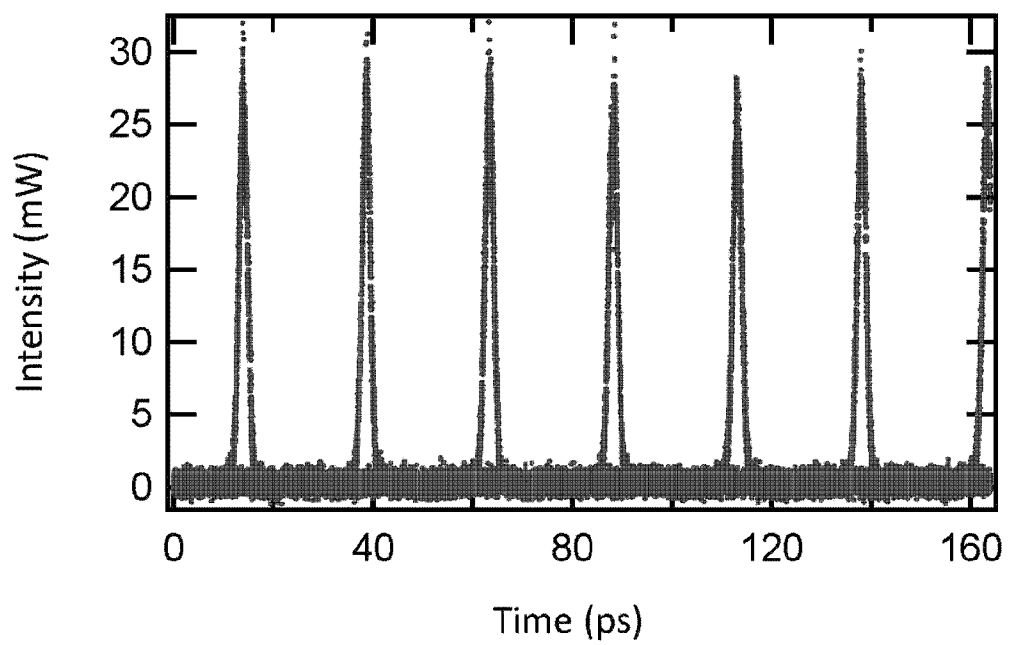
[図4]



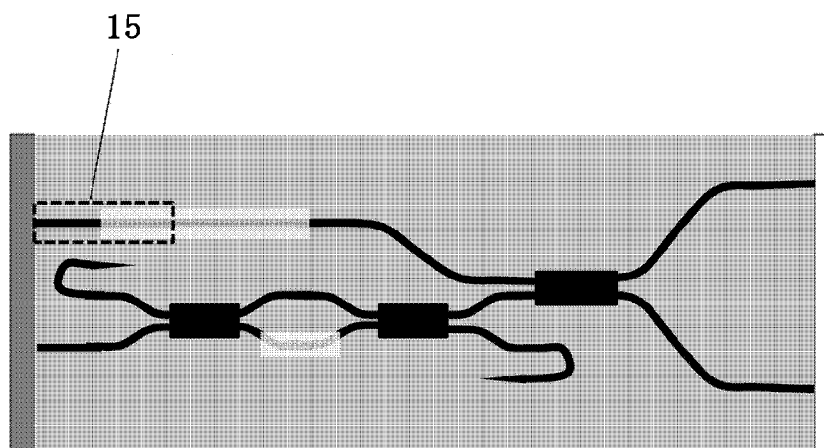
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/053467

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/365(2006.01)i, G02F1/017(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/365, G02F1/017

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

IEEE Xplore, JSTPlus(JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Akimoto, R. et al., All-Optical Wavelength Conversion at 40Gb/s with Enhanced XPM by Facet Reflection using Intersubband Transition in InGaAs/AlAsSb Quantum Well Waveguide, ECOC 2010, 2010.09, 1-3	1-4
A	Shoji, Y. et al., Michelson Interferometer of Si-Wire Waveguide for Hybrid Integrated Devices, OECC 2010, 2010.07, 868-869	1-4

☐ 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 April, 2012 (26.04.12)

Date of mailing of the international search report
15 May, 2012 (15.05.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))
Int.Cl. G02F1/365 (2006.01)i, G02F1/017 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02F1/365, G02F1/017

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEEE Xplore, JSTPlus (JDreamII)

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	Akimoto, R. et al., All-Optical Wavelength Conversion at 40Gb/s with Enhanced XPM by Facet Reflection using Intersubband Transition in InGaAs/AlAsSb Quantum Well Waveguide, ECOC 2010, 2010.09, 1-3	1-4
A	Shoji, Y. et al., Michelson Interferometer of Si-Wire Waveguide for Hybrid Integrated Devices, OECC 2010, 2010.07, 868-869	1-4

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 6 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

2 X

9 3 1 6