

(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
2016 年 12 月 29 日(29.12.2016)



(10) 国際公開番号

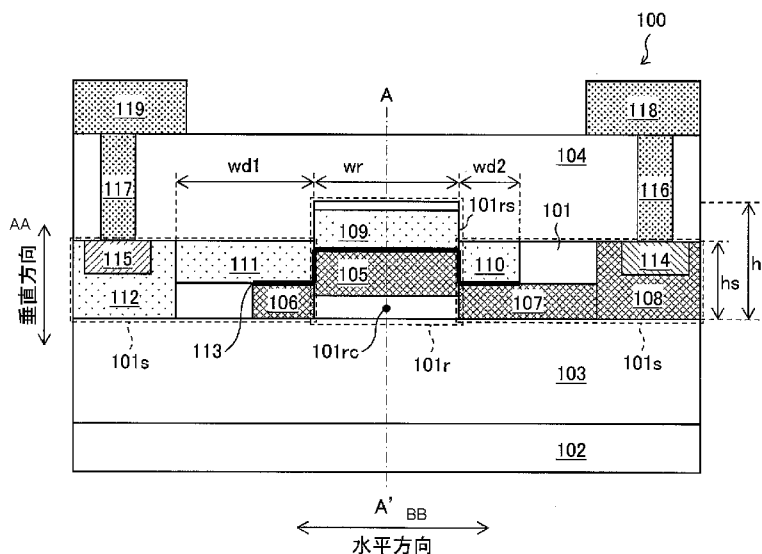
WO 2016/208732 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/025 (2006.01) *G02B 6/122* (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/068864
- (22) 国際出願日: 2016 年 6 月 24 日(24.06.2016)
- (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 2015-129099 2015 年 6 月 26 日(26.06.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.)
[JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場 1 丁目 5 番
1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小川 憲介(OGAWA, Kensuke); 〒2858550
千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジ
クラ佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人HARAKENZO W
ORLD PATENT & TRADEMA
R K (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADE-
MARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋 2 丁
目北 2 番 6 号 大和南森町ビル 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, BA,
BB, BG, BH, BN, 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,
IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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, 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, 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:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OPTICAL WAVEGUIDE ELEMENT

(54) 発明の名称: 光導波路素子

図 1



AA Vertical direction
BB Horizontal direction

(57) Abstract: The present invention makes it possible to reduce a light loss, a drive voltage, and sizes, and to simplify manufacturing steps. The present invention is provided with a rib waveguide core (101) having a rib region (101r) and both slab regions (101s), and a depletion layer (113) extending from the rib region (101r) to as far as the two slab regions (101s) is formed.

(57) 要約: 光損失の低減、駆動電圧の低減、小型化、および製造工程の簡易化を可能とする。リブ領域 (101r) と、両スラブ領域 (101s) とを有しているリブ導波路コア (101) を備えており、リブ領域 (101r) から 2 つのスラブ領域 (101s) にまで延伸する空乏層 (113) が形成される。

WO 2016/208732 A1

明 細 書

発明の名称：光導波路素子

技術分野

[0001] 本発明は、光集積回路に用いられる光導波路素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、光導波路素子を含む光集積回路を、光ファイバ通信用の各種デバイスに応用することが検討されている。光ファイバ通信用のデバイスとしては、例えば、長距離・メトロ系の波長多重光ファイバ通信で用いられる光トランスポート装置や、データセンタ等で用いられる光インタコネクト装置等が挙げられる。

[0003] 光集積回路に用いられる光導波路素子として、特許文献1には、相異なる導電性を有する2つのシリコン層と、これら2つのシリコン層に挟まれた誘電体層とを有するコアを備えたものが開示されている。特許文献1に記載の光導波路素子においては、2つのシリコン層としてP型シリコン層およびN型シリコン層を用い、誘電体層として二酸化シリコンを用いた、いわゆるSISCAP（シリコンキャパシタ）構造が採用されている。

[0004] 特許文献1に記載の光導波路素子では、各シリコン層の側壁（基板の面に沿う方向における該シリコン層の終端）とクラッドとの屈折率の差により光の閉じ込めが実現されており、コアを導波する光の電界は、上記2つのシリコン層と上記誘電体層とに拡がるように分布する。このため、上記2つのシリコン層のキャリア密度を変化させることにより、上記誘電体層を介して上記2つのシリコン層が重なりあったコアの中央部分において、コアを導波する光に対する屈折率を変化させることができる。

[0005] また、特許文献1には、P型シリコン層またはL型シリコン層のいずれかをL字型に折り曲げたSISCAP構造が開示されている。このような構造を採用することにより、キャリア密度が変化する領域を、基板の面に対して平行な方向のみならず、基板の面に対して垂直な方向にも延設することがで

きる。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：米国特許公開2004/0208454号公報（2004年10月21日公開）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 特許文献1に記載の光導波路素子では、上述したように、各シリコン層の側壁（基板の面に沿う方向における該シリコン層の終端）とクラッドとの屈折率の差により光の閉じ込めが実現される。このため、各シリコン層の側壁が荒れていると、その側壁にてコアを導波する光が散乱されてしまい、光損失が大きくなるという問題が発生する。
- [0008] また、特許文献1に記載の光導波路素子では、上述したように、キャリア密度が変化する領域が、誘電体層を介して2つのシリコン層が重なりあったコアの中央部分に限定され、コアを導波する光の電界が分布する領域全体には及ばない。したがって、屈折率変調の効率を高めて駆動電圧を低下させるためには、（1）各シリコン層のドーピング密度を高くするか、または、（2）素子長を長くする必要がある。各シリコン層のドーピング密度を高くした場合、キャリアがより多くの光を吸収してしまい、結果、光損失が大きくなるという問題が発生する。一方、素子長を長くした場合、光導波路素子の大型化を招くという問題が発生する。
- [0009] さらに、副次的な問題として、特許文献1に記載の光導波路素子では、その製造工程のうち、誘電体層にシリコン層を積層する工程が特殊なものとなるため、その製造工程が複雑となる。この結果、特許文献1に記載の光導波路素子は、その製造が難しく、また、他の光回路との間でデザインルールを統一することも困難であるため、他の光回路と共に集積することが困難であるという問題が発生する。例えば、光損失低減および光学特性のバラつきを

抑えるため、積層膜厚の変動を1 nm（ナノメートル）以下に低減する技術が必要になる。

[0010] さらに、別の副次的な問題として、特許文献1に記載の光導波路素子では、各シリコン層に拡がるように、コアを導波する光の電界が分布する。このため、コアを導波する光のプロファイルは、基板面と平行な方向において非対称となり、コアを導波する光は、横電界（TE）成分と横磁界（TM）成分とを偏波成分として含むこととなる。この結果、特許文献1に開示されている光導波路素子と偏波多重光回路とを集積化すると偏波クロストークが生じ、偏波多重光信号伝送が困難になるという問題が発生する。

[0011] 本発明は、上記の課題に鑑みて為されたものであり、その目的は、光損失の低減、駆動電圧の低減、および小型化を可能とする光導波路素子を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 上記の課題を解決するために、本発明の光導波路素子は、突出部と、第1方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い2つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、上記コア部は、互いに上記第1方向に対して垂直な第2方向に重ねて配置された、PN接合を形成する第1コア領域および第2コア領域を有しており、上記第1コア領域と上記第2コア領域との間に、上記突出部から2つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成され、上記2つの非突出部のそれぞれにおける上記空乏層の上記第2方向の位置は、上記突出部における上記空乏層の上記第2方向の位置より低いことを特徴としている。

[0013] 上記の構成によれば、リブ導波路をコア部としているため、導波光（コア部を導波する光）が突出部およびその近傍に局在し、その電界分布がコア部の側壁（非突出部の先端）にまで至らない。このため、コア部の側壁に荒れがあっても、側壁の粗さに起因する光の散乱が低減され、その結果、光損失が低減される。また、上記の構成によれば、第1コア領域と第2コア領域との間に、突出部から2つの非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する

空乏層が形成されているので、（１）第１コア領域および第２コア領域のドーピング密度を高くしたり、（２）素子長を長くしたりせずとも、屈折率変調の効率を高めて駆動電圧を低下させることが可能になる。すなわち、光損失の増大および光導波路素子の大型化を招来することなく、駆動電圧の低減を実現することができる。

[0014] また、上記の構成によれば、コア部の全領域において、導波光の電界プロファイルと空乏層との空間的重なりを増すことができる。これにより、キャリア密度を変化させる効率を高め、さらなる駆動電圧の低減が可能となる。

[0015] 上記の課題を解決するために、本発明の光導波路素子は、突出部と、第１方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い２つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、上記コア部は、互いに上記第１方向に対して垂直な第２方向に重ねて配置された、ＰＮ接合を形成する第１コア領域および第２コア領域を有しており、上記第１コア領域と上記第２コア領域との間に、上記突出部から２つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成され、上記空乏層と導波光の電界との重なりが最大となる場合、上記第２方向に関し、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第１コア領域の下面の高さは、 $h_r/2 - h_s/2$ （但し、 h_s ：少なくとも１つの上記非突出部の厚み、 h_r ：上記突出部の厚み）であり、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第２コア領域の上面の高さは、 $h_r/2 + h_s/2$ であることを特徴としている。

[0016] 上記の構成によれば、リブ導波路をコア部としているため、導波光（コア部を導波する光）が突出部およびその近傍に局在し、その電界分布がコア部の側壁（非突出部の先端）にまで至らない。このため、コア部の側壁に荒れがあっても、側壁の粗さに起因する光の散乱が低減され、その結果、光損失が低減される。また、上記の構成によれば、第１コア領域と第２コア領域との間に、突出部から２つの非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成されているので、（１）第１コア領域および第２コア領域のド

ーピング密度を高くしたり、（２）素子長を長くしたりせずとも、屈折率変調の効率を高めて駆動電圧を低下させることが可能になる。すなわち、光損失の増大および光導波路素子の大型化を招来することなく、駆動電圧の低減を実現することができる。

[0017] また、上記の構成によれば、コア部全体での導波光の電界のプロファイルと空乏層との重なりをさらに増すことができるとともに、光損失の低減が可能である。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、光損失の低減、駆動電圧の低減、小型化、および製造工程の簡易化が可能となる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の実施の形態１に係る光導波路素子の断面図である。

[図2]図１に示す断面における導波光の電界プロファイルである。

[図3]（a）はマッハーツェンダー干渉計のブロック図であり、（b）はマッハーツェンダー干渉計を備えた光変調器の斜視図である。

[図4]本発明の実施の形態２に係る光導波路素子の上面図である。

[図5]空乏層における導波光の電界プロファイルである。

[図6]空乏層における導波光の別の電界プロファイルである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明を実施するための形態について、図１～図６を参照して詳細に説明する。

[0021] 〔実施の形態１〕

図１は、本発明の第１の実施の形態に係る光導波路素子１００の断面図である。なお、図１では、水平方向（第１方向）および垂直方向（第２方向）を併せて示している。

[0022] 光導波路素子１００は、リブ導波路コア（コア部）１０１、基板１０２、下部クラッド１０３、および上部クラッド１０４を備えている。下部クラッド１０３は、基板１０２上に形成されている。リブ導波路コア１０１は、下

部クラッド103上に形成されている。上部クラッド104は、リブ導波路コア101上に形成されている。

[0023] 光導波路素子100において、基板102と下部クラッド103との界面は平坦である。図1に示す水平方向は、この界面と平行な方向であり、図1に示す垂直方向は、この界面と直交する方向であると言える。また、垂直方向に関し、上部クラッド104側が上であり、基板102側が下である。

[0024] リブ導波路コア101は、図1に示す断面の水平方向における中央部分に形成されたリブ領域（突出部）101rと、水平方向に沿ってリブ領域101rを挟むように配置された2つのスラブ領域（非突出部）101sとを有している。図1では、リブ領域101rの幅（水平方向の長さ）を w_r とし、リブ領域101rの厚み（垂直方向の長さ）を h_r とし、両スラブ領域101sの厚みを h_s としている。

[0025] 以下、リブ領域101rにおける、両スラブ領域101sを以て上の領域を、凸部と称する。つまり、リブ領域101rは、凸部と、この凸部の直下のリブ導波路コア101部分とを含む領域である。

[0026] 図1に示す断面において、リブ導波路コア101は、リブ領域101rの水平方向における中点101rcを通り垂直方向に伸びる軸（一点鎖線A-A'）に対して線対称である。また、凸部の側壁101rsは、概ね垂直方向に延伸している。

[0027] 導波光（リブ導波路コア101を導波する光）は、リブ領域101rおよびその近傍に局在し、図1に示す断面と直交する方向（第3方向）に伝搬する。リブ導波路コア101を伝搬する導波光のモードがTE成分の基本モードのみとなるように、光導波路素子100は設計されている。ここで、導波光の波長は、光通信および光インタコネクトにおいて適用される波長帯にあり、1200nm～1700nmの範囲にある。

[0028] リブ導波路コア101および基板102の材質は例えば、結晶性シリコンである。一方、下部クラッド103および上部クラッド104の材質は例えば、二酸化シリコン（シリカ）である。リブ導波路コア101、基板102

、下部クラッド103、および上部クラッド104の材質を以上のようにすれば、SOI (Silicon-on-insulator) ウエファを用いて、光導波路素子100を構成することができる。リブ導波路コア101には、結晶性シリコンからなるSOI層を用いることができる。下部クラッド103には、埋め込みシリカ(BOX)層を用いることができる。上部クラッド104は、リブ導波路コア101にシリカを堆積することによって形成することができる。

[0029] 近年、厚みが概ね220nmであるSOI層を含むSOIウエファが普及している。そこで、光導波路素子100では、このSOIウエファを用いた構成を想定し、 h_r が220nmである。TE成分の高次モードの導波光およびTM成分の導波光の伝搬を避けるためには、 h_s が150nm以上であることが好ましい。また、TE成分の基本モードの導波光がリブ導波路コア101外へ放射され、導波光が減衰してしまうことを避けるためには、 h_s が180nm以下であり、かつ、 w_r が450nm以上であることが好ましい。 w_r が450nm以上であれば、側壁101rsの粗さに起因する光損失を低減することにおいても好適である。

[0030] 自由キャリア吸収により生じるキャリアプラズマ分散に基づいた屈折率変調を行うために、リブ導波路コア101にはPN接合が形成されている。つまり、光導波路素子100では、このPN接合においてキャリア密度を変化させることによって、屈折率を変化させている。本願発明者は、リブ導波路コア101内における、導電性を有する領域(空乏層を含む)のレイアウトを新たに案出し、この新たなレイアウトにより、光損失の低減、駆動電圧の低減、および変調周波数の上昇を実現した。

[0031] 図1に示すとおり、リブ導波路コア101は、中央領域(第1コア領域の一部)105、側方領域(第1コア領域の一部)106および107、ならびに接続領域(第1コア領域の一部)108を備えている。中央領域105、側方領域106および107、ならびに接続領域108は、いずれも第1の導電性を有しており、互いに電氣的に接続されており、全体として第1コア領域を形成している。

[0032] 中央領域105は、リブ領域101rにおける凸部の直下に設けられている。中央領域105、側方領域106、および側方領域107はいずれも、それらの両側部が、垂直方向に延伸している。側方領域106の右側の側部は、中央領域105の左側の側部と接しており、側方領域107の左側の側部は、中央領域105の右側の側部と接している。側方領域106および107はいずれも、対応する中央領域105の側部における下方の一部と、対応する側方領域106および107の側部における上方の一部とが接している。側方領域106および107はいずれも、その厚みがおよそ $h_s/2$ である。側方領域106の左側の側部は、ドーパントが意図的に注入されていないアンドープ領域と接している。側方領域107の右側の側部は、接続領域108と接している。接続領域108の厚みは h_s である。中央領域105の幅は w_r であり、側方領域106の幅は w_{d2} であり、側方領域107の幅は w_{d1} である。

[0033] また、図1に示すとおり、リブ導波路コア101は、中央領域（第2コア領域の一部）109、側方領域（第2コア領域の一部）110および111、ならびに接続領域（第2コア領域の一部）112を備えている。中央領域109、側方領域110および111、ならびに接続領域112は、いずれも第2の導電性を有しており、互いに電氣的に接続されており、全体として第2コア領域を形成している。

[0034] 中央領域109は、部分的にリブ領域101rにおける凸部に含まれており、中央領域105の直上に設けられている。中央領域109、側方領域110、および側方領域111はいずれも、それらの両側部が、垂直方向に延伸している。側方領域110の左側の側部は、中央領域109の右側の側部と接しており、側方領域111の右側の側部は、中央領域109の左側の側部と接している。側方領域110および111はいずれも、対応する中央領域109の側部における下方の一部と、対応する側方領域110および111の側部における上方の一部とが接している。側方領域110および111はいずれも、その厚みがおよそ $h_s/2$ であり、側方領域106および10

7の厚みと等しくなっている。側方領域110の右側の側部は、ドーパントが意図的に注入されていないアンドープ領域と接している。側方領域111の左側の側部は、接続領域112と接している。接続領域112の厚みは h_s である。中央領域109の幅は w_r であり、側方領域110の幅は w_{d2} であり、側方領域111の幅は w_{d1} である。

[0035] なお、光導波路素子100において、中央領域109は、凸部の頂上にまで達していない。しかしながら、光導波路素子における光損失の増大を招くことなく屈折率変調の効率をさらに向上させることができる場合等においては、中央領域109を、凸部の頂上にまで達するように形成してもよい。

[0036] 光導波路素子100では、水平方向において、接続領域108および112とリブ領域101 r とが離間されて配置されている。このような配置を採用した理由は、自由キャリア吸収による光損失を低減するためである。中点101 r_c から接続領域108までの距離と、中点101 r_c から接続領域112までの距離とはいずれも、光導波路素子100において要求される光損失の程度、および／または光導波路素子100の動作周波数等に応じて任意の長さに設定可能である。

[0037] リブ導波路コア101において、中央領域105と中央領域109とが、互いに垂直方向に重ねて配置されている。また、リブ導波路コア101において、側方領域106と側方領域111とが、互いに垂直方向に重ねて配置されている。さらに、リブ導波路コア101において、側方領域107と側方領域110とが、互いに垂直方向に重ねて配置されている。

[0038] ここで、中央領域105、側方領域106および107、ならびに接続領域108が有する第1の導電性がP型であり、中央領域109、側方領域110および111、ならびに接続領域112が有する第2の導電性がN型である場合を考える。この場合、第1の導電性（P型）を有する各領域と、第2の導電性（N型）を有する各領域とによりPN接合が形成される。そして、このPN接合が形成された部分に対して、所定の逆バイアス電圧を印加することによって、このPN接合の境界には空乏層113が形成される。空乏

層 1 1 3 は、リブ領域 1 0 1 r から両スラブ領域 1 0 1 s に延伸するように形成される。

[0039] また、リブ導波路コア 1 0 1 において、側方領域 1 0 6 と側方領域 1 1 1 とによる P N 接合の垂直方向の位置は、中央領域 1 0 5 と中央領域 1 0 9 とによる P N 接合の垂直方向の位置に比べて低い。また、リブ導波路コア 1 0 1 において、側方領域 1 0 7 と側方領域 1 1 0 とによる P N 接合の垂直方向の位置も、中央領域 1 0 5 と中央領域 1 0 9 とによる P N 接合の垂直方向の位置に比べて低い。このため、両スラブ領域 1 0 1 s における空乏層 1 1 3 の垂直方向の位置は、リブ領域 1 0 1 r における空乏層 1 1 3 の垂直方向の位置より低くなる。これにより、リブ導波路コア 1 0 1 において、導波光の電界プロファイルと空乏層 1 1 3 との空間的重なりを増すことができる。これにより、キャリア密度を変化させる効率を高め、さらなる駆動電圧の低減が可能となる。

[0040] さらに、リブ導波路コア 1 0 1 では、中央領域 1 0 5 の右側の側部と側方領域 1 1 0 の左側の側部とが、互いに水平方向に並んで配置されており、これにより、P N 接合が形成されている。同様に、リブ導波路コア 1 0 1 では、中央領域 1 0 5 の左側の側部と側方領域 1 1 1 の右側の側部とが、互いに水平方向に並んで配置されており、これにより、P N 接合が形成されている。これらの P N 接合についても、上述した逆バイアス電圧の印加によって空乏層 1 1 3 が形成される。中央領域 1 0 5 と側方領域 1 1 0 との間に形成される空乏層 1 1 3、および、中央領域 1 0 5 と側方領域 1 1 1 との間に形成される空乏層 1 1 3 はいずれも、対応するリブ領域 1 0 1 r とスラブ領域 1 0 1 s との境界にて、垂直方向に延伸している。

[0041] 図 2 は、図 1 に示す断面における導波光の電界プロファイルである。図 2 に示すとおり、導波光の T E 成分の基本モードにおける電界プロファイルは、両スラブ領域 1 0 1 s にも局在することとなる。

[0042] なお、図 2 において、導波光の電界は線形スケールによって表示されている。また、図 2 では、 w_r が 650 nm であり、 h_r が 220 nm であり、

h s が 1 6 0 n m であり、導波光の波長が 1 5 5 0 n m であるものとしてプロファイルを導出している。両スラブ領域 1 0 1 s における空乏層 1 1 3 の垂直方向の位置を、リブ領域 1 0 1 r における空乏層 1 1 3 の垂直方向の位置より低くすることによって、リブ導波路コア 1 0 1 において、導波光の電界プロファイルと空乏層 1 1 3 との空間的重なりを増すことができる。

[0043] 光導波路素子 1 0 0 では、空乏層 1 1 3 が 9 0 ° 折れ曲がっている部分が存在している。但し、実際は、イオン注入時のドーパント元素の注入プロファイル、および、アニーリング時の熱拡散に影響されることによって、この折れ曲がり部分が丸みを帯びる場合がある。この折れ曲がり部分が丸みを帯びることは、空乏層 1 1 3 による効果にさほど影響を及ぼさない。

[0044] 上記 P N 接合が形成された部分に対する逆バイアス電圧が変化するとき、空乏層 1 1 3 における水平方向の拡がり（幅）は実質的に一定である。一方、このとき、空乏層 1 1 3 における垂直方向の拡がり（垂直方向の位置、または厚み）は変化する。リブ導波路コア 1 0 1 に局在する導波光のプロファイルによれば、この垂直方向の拡がり、この水平方向の拡がりの概ね半分以下と小さい。従って、空乏層 1 1 3 の厚みを変化させるほうが、空乏層 1 1 3 の幅を変化させるよりも、屈折率変調の効率を向上させ、光導波路素子 1 0 0 の駆動電圧を低減することが容易である。

[0045] 以上の構成およびメカニズムによって、光導波路素子 1 0 0 により、下記の効果を奏する。

[0046] 凸部の存在のみにより、導波光がリブ領域 1 0 1 r およびその近傍に局在されるため、側壁の粗さに起因する光の散乱が低減され、これにより、光導波路素子 1 0 0 では光損失が低減される。また、光導波路素子 1 0 0 では、その駆動電圧の低減を実現するように、上述した第 1 の導電性を有する各領域および第 2 の導電性を有する各領域を最適化している。このとき、光導波路素子 1 0 0 の大型化とは異なる手段で、上記光損失の低減、および駆動電圧の低減を図っているため、光導波路素子 1 0 0 の大型化を避けることができる。

- [0047] また、空乏層 113 が両スラブ領域 101s に延伸されている。そして、両スラブ領域 101s における空乏層 113 の垂直方向の位置は、リブ領域 101r における空乏層 113 の垂直方向の位置と異なっている（具体的には、リブ領域 101r における空乏層 113 の垂直方向の位置より低い）。これにより、リブ導波路コア 101 の全領域において、導波光の電界プロファイルと空乏層 113 との空間的重なりを増すことができる。これにより、キャリア密度を変化させる効率を高め、さらなる駆動電圧の低減が可能となる。
- [0048] また、接続領域 108 および 112 の厚みはいずれも h_s であり、対応するスラブ領域 101s の厚みそのものである。これにより、直列抵抗（後述する低抵抗領域 114 から側方領域 107 との境界までの抵抗、および後述する低抵抗領域 115 から側方領域 111 との境界までの抵抗）が低減される。このため、この直列抵抗と、上記 PN 接合による容量とから決まる RC 時定数を小さくすることができる。この結果、光導波路素子 100 では、変調周波数の上昇を図ることができる。
- [0049] 光導波路素子 100 では、図 1 に示したリブ導波路コア 101 の断面形状によって、導波光の電界プロファイルが最適化される。一方、空乏層 113 の形状は、導波光の電界プロファイルと独立して、上述した第 1 の導電性を有する各領域および第 2 の導電性を有する各領域の配置、ひいてはドーパント分布によって最適化される。従って、光導波路素子 100 では、光損失の低減、および駆動電圧の低減が容易である。
- [0050] なお、図 2 では、光導波路素子 100 において、 w_r が 650 nm であり、 h_r が 220 nm であり、 h_s が 160 nm であるものとして説明を行ったが、 w_r 、 h_r 、および h_s の値はこれらに限定されない。すなわち、リブ導波路コア 101 を伝搬する導波光が理想的に単一のモードのみであり、かつ空乏層 113 が適切に形成される範囲で、光導波路素子 100 の各種寸法は適宜変更することができる。
- [0051] また、光導波路素子 100 では、第 1 の導電性が P 型であり、第 2 の導電

性がN型であるとしたが、第1の導電性がN型であり、第2の導電性がP型であってもよい。

[0052] ここからは、光導波路素子100における上記PN接合の形成方法、および高周波電極が設けられた高速光変調素子について説明を行う。第1の導電性を有する各領域と、第2の導電性を有する各領域とを、互いに垂直方向に重ねて配置するためには、 h_s が100nm以上であることが好ましい。

[0053] 第1の導電性を有する各領域および第2の導電性を有する各領域は、ドーピングによって形成される。このドーピングを行う方法として例えば、イオン注入を採用することができる。光導波路素子100の上方から垂直方向に沿ってイオン注入を行う場合であって、リブ領域101rと両スラブ領域101sとに同時にイオン注入を行う場合を考える。この場合、リブ領域101rに対してイオンが侵入する距離と、両スラブ領域101sに対してイオンが侵入する距離とが概ね等しくなる。従って、リブ領域101rの上面と両スラブ領域101sの上面との空乏層113の垂直方向の位置を調節することによって、空乏層113を所望の位置に形成することが可能となる。また、リブ領域101rと両スラブ領域101sとに同時にイオン注入を行うことを可能とするためには、導波光の高次モードの伝搬を避けること、かつ、導波光の放射損失が増大しないことを条件として、 h_r および h_s を最適値に調節することが必要である。

[0054] ここで、図2に示した導波光の電界プロファイルより、リブ領域101rでは、凸部の頂上から80nm~100nm程度下方に、空乏層113の垂直方向の中心を配置すると、導波光の電界が最大となる位置と垂直方向に概ね一致する。このため、導波光の電界プロファイルと空乏層113との重なりが概ね最大となる。また、各スラブ領域101sでは、対応するスラブ領域101sの垂直方向の中心付近に、空乏層113の垂直方向の中心を配置すると、導波光の電界が最大となる位置と垂直方向に概ね一致する。このため、導波光の電界プロファイルと空乏層113との重なりが概ね最大となる。

[0055] 側方領域106、側方領域107、側方領域110、および側方領域111は、垂直方向に互いに同じ厚みを有している。その結果、各スラブ領域101sにおける空乏層113の垂直方向の中心は、対応するスラブ領域101sの垂直方向の中心と一致する。側方領域106、側方領域107、側方領域110、および側方領域111の各々の厚みにおよそ5%以内のバラつきがあったとしても、光導波路素子100の光学特性および電気特性に対してほとんど影響を及ぼさない。よって、このバラツキの範囲内で、側方領域106、側方領域107、側方領域110、および側方領域111は同じ厚みとみなすことができる。

[0056] リブ領域101rの上面と両スラブ領域101sの上面とのそれぞれの垂直方向の位置は、リブ領域101rと両スラブ領域101sとに同時にイオン注入を行うことによる上記PN接合の形成に概ね適合する。このようなイオン注入によって、光導波路素子100の製造プロセスを簡易化することができ、光導波路素子100の製造精度が向上する。従って、光導波路素子100を、他の回路と共に集積することが容易となる。このようなイオン注入に適合する条件を達成することが困難である場合、もしくは、リブ領域101rにおける空乏層113の垂直方向の中心と各スラブ領域101sにおける空乏層113の垂直方向の中心とを個別に調節する必要がある場合を考える。この場合、リブ領域101rに対するイオン注入と、各スラブ領域101sに対するイオン注入とを個別に行えばよい。イオン注入された元素を活性化して導電性を向上させるため、必要に応じて各イオン注入段階において、アニール処理を行ってもよい。

[0057] なお、光導波路素子100では、第1の導電性・第2の導電性が、P型・N型の組み合わせであってもよいし、N型・P型の組み合わせであってもよい旨上述した。これらの組み合わせのいずれを採用するかについては、注入する元素の拡散係数等の特性に応じて決定すればよい。

[0058] 中央領域105、側方領域106、および側方領域107は、セルフアラインメントによって、1回のイオン注入により形成することができる。ここ

で、リブ導波路コア１０１の材質が結晶性シリコンであれば、注入するＰ型イオンとして例えば、ホウ素を用いることができる。イオン注入の加速電圧を調節することによって、中央領域１０５がリブ領域１０１_rに形成され、側方領域１０６および１０７は、それぞれ対応するスラブ領域１０１_sの概ね下半分に形成される。

[0059] また、接続領域１０８を形成するためには、２段階のイオン注入が必要である。第１段階のイオン注入は、上述したセルフアラインメントによるイオン注入と共通である。これにより、接続領域１０８は、右側のスラブ領域１０１_sの概ね下半分に形成される。また、第２段階のイオン注入では、光学マスク等を用いてイオンの注入領域を接続領域１０８の垂直方向に制限し、加速電圧を低減して、接続領域１０８を、右側のスラブ領域１０１_sの概ね上半分に形成する。

[0060] また、接続領域１０８におけるその上面を含む領域に対して、ドーズ量を増加させてイオン注入を行い、スラブ領域１０１_sにおける接続領域１０８の内部に、第１の導電性を有する低抵抗領域１１４を形成する。

[0061] また、光導波路素子１００は、上部クラッド１０４に対して水平方向に設けられた垂直貫通配線１１６および１１７と、垂直貫通配線１１６の上方に設けられた表面電極１１８と、垂直貫通配線１１７の上方に設けられた表面電極１１９とをさらに備えている。ここでは、低抵抗領域１１４の上面に、垂直貫通配線１１６の一端を接続し、垂直貫通配線１１６の他端に、表面電極１１８を接続する。

[0062] 中央領域１０９、側方領域１１０、および側方領域１１１は、セルフアラインメントによって、形成することができる。注入するＮ型イオンとして例えば、ヒ素を用いることができる。イオン注入の加速電圧を調節することによって、中央領域１０９がリブ領域１０１_rにおける中央領域１０５の上方に形成され、側方領域１１０および１１１は、それぞれ対応するスラブ領域１０１_sの概ね上半分に形成される。

[0063] また、接続領域１１２を形成するためには、接続領域１０８の形成と同様

に、２段階のイオン注入が必要である。第１段階のイオン注入は、上述したセルフアラインメントによるイオン注入と共通である。これにより、接続領域１１２は、左側のスラブ領域１０１sの概ね下半分に形成される。また、第２段階のイオン注入では、光学マスク等を用いてイオンの注入領域を接続領域１１２の垂直方向に制限し、加速電圧を低減して、接続領域１１２を、左側のスラブ領域１０１sの概ね上半分に形成する。

[0064] また、接続領域１１２におけるその上面を含む領域に対して、ドーズ量を増加させてイオン注入を行い、スラブ領域１０１sにおける接続領域１１２の内部に、第２の導電性を有する低抵抗領域１１５を形成する。

[0065] ここでは、低抵抗領域１１５の上面に、垂直貫通配線１１７の一端を接続し、垂直貫通配線１１７の他端に、表面電極１１９を接続する。

[0066] 表面電極１１８および１１９は、高周波電極の一部である。垂直貫通配線１１６、垂直貫通配線１１７、表面電極１１８、および表面電極１１９の材質は例えば、金属アルミニウムまたは金属銅である。表面電極１１８および１１９の少なくとも一方に対して、ＤＣ（Direct current）ブロックとして機能するキャパシタ（図示しない）を介して、高周波電気信号を印加する。当該印加と同時に、ＡＣ（Alternating current）ブロックとして機能するインダクタ（図示しない）を介して、ＤＣ逆バイアス電圧を印加することによって、高速光変調が可能である。

[0067] ここで、空乏層１１３の幅は、導波光の水平方向における拡がりを実質的に全てカバーするような値に設定する。これにより、wd 2は約３００nm以上となる。導波光の水平方向における拡がりをカバーすることに関し、空乏層１１３の水平方向における両端は、リブ導波路コア１０１における導波光による電界のピーク値に対して、導波光による電界が約１３dB減衰した点に位置することが好ましい。すなわち、空乏層１１３の水平方向の拡がりが導波光の電界ピーク値に対して約１３dB減衰した点を越えると、上記ＰＮ接合による容量が増大し、ＲＣ時定数に起因する速度制限が顕著になる。これを避けるように、空乏層１１３の水平方向における端を配置することが

好ましい。

[0068] wd1は、700nm～1200nmであることが好ましい。これにより、中点101rcと接続領域108との水平方向の距離、および、中点101rcと接続領域112との水平方向の距離はいずれも、概ね1000nm～1500nmとなる。

[0069] [実施の形態2]

図3の(a)はマッハツェンダー干渉計のブロック図であり、図3の(b)はマッハツェンダー干渉計を備えた光変調器1の斜視図である。マッハツェンダー干渉計は、外部からのノイズの影響を受けにくい、温度変化に対して変調動作の安定性が高い等の利点を有することから、光通信用の光変調器に多く採用されている。

[0070] 図3の(a)に示すマッハツェンダー干渉計は、下記の構成を有している。入射側導波路305の入射端は、入射側の光ファイバ(図示しない)との光結合に用いられる。入射側導波路305の出射端は、光分岐部303の入射端と接続されている。光分岐部303の一方の出射端は、アーム導波路306の入射端と接続されており、光分岐部303の他方の出射端は、アーム導波路307の入射端と接続されている。アーム導波路306の出射端は、位相変調部301の入射端と接続されている。アーム導波路307の出射端は、位相変調部302の入射端と接続されている。位相変調部301の出射端は、アーム導波路308の入射端と接続されている。位相変調部302の出射端は、アーム導波路309の入射端と接続されている。アーム導波路308の出射端は、光合波部304の一方の入射端と接続されている。アーム導波路309の出射端は、光合波部304の他方の入射端と接続されている。光合波部304の出射端は、出射側導波路310の入射端と接続されている。出射側導波路310の出射端は、出射側の光ファイバ(図示しない)との光結合に用いられる。

[0071] アーム導波路306、位相変調部301、およびアーム導波路308が、第1のアーム部を形成しており、アーム導波路307、位相変調部302、

およびアーム導波路309が、第2のアーム部を形成している。

[0072] 位相変調部301および位相変調部302はそれぞれ、図1に示した光導波路素子100を1つ含んでいる。より具体的に、図3の(a)に示すD-D'断面が、図1に示した断面と等しい。

[0073] 図3の(b)に示すとおり、光変調器1は、光通信に利用可能な光変調器であって、シリコン(Si)をベースとするPN接合に変調信号に応じた変調電界を印加することによって、入射した光を変調するシリコン光変調器である。光変調器1は、基板102と、下部クラッド103と、上部クラッド104とが、その順で積層された層状構造を有している。

[0074] 光変調器1には、マッハツェンダー干渉計を構成する光導波路として、図3の(a)に示した各部材が、下部クラッド103と上部クラッド104とに挟まれて設けられている。

[0075] 入射側導波路305、アーム導波路306、アーム導波路307、アーム導波路308、アーム導波路309、および出射側導波路310は、矩形コアを有する矩形導波路である。この矩形コアの材質は例えば、結晶性シリコンである。この矩形コアの幅および厚みは、それぞれ w_i および h_r である。ここで、 w_i は500nmであり、TE成分の基本モードが導波光として、入射側導波路305、アーム導波路306、アーム導波路307、アーム導波路308、アーム導波路309、および出射側導波路310を伝搬する。光分岐部303および光合波部304は例えば、それぞれ、1×2多モード干渉計および2×2多モード干渉計によって構成されている。これらの各多モード干渉計の厚みは h_r である。これらの各部材は、SOIウエファを用いて構成されている。

[0076] 位相変調部301および302の少なくとも一方に高周波電気信号を入力することによって、光強度変調が可能となる。また、位相変調部301および302に互いに相補的な高周波電気信号を入力し、プッシュプル駆動を行うことによって、光位相変調が可能となる。なお、高周波電気信号のシンボルレートは、10Gbaud以上である。

- [0077] アーム導波路306、位相変調部301、およびアーム導波路308間の接続では、光損失の増大および高次モード励起を避けるため、光導波路素子100部分において、リブ領域101rおよび両スラブ領域101sの幅を徐々に変化させるテーパ形状を形成することが好ましい。アーム導波路307、位相変調部302、およびアーム導波路309間の接続についても同様である。
- [0078] 図4は、本発明の第2の実施の形態に係る光導波路素子100'の上面図である。なお、図4では、水平方向および導波光伝搬方向を併せて示している。図4において、導波光伝搬方向は、水平方向および垂直方向（図1参照）の両方に対して垂直な方向である。
- [0079] 光導波路素子100'は、リブ領域101rおよび両スラブ領域101sの水平方向の幅が、導波光伝搬方向の位置に依存して変化する点を除けば、図1に示した光導波路素子100と同じ構成を有している。図4に示す光導波路素子100'のD-D'断面が、図1に示した光導波路素子100の断面と等しい。
- [0080] 位相変調部301における入射端側において、光導波路素子100'は、アーム導波路306との接続のため、導波光伝搬方向に沿って、第1テーパ部401を有している。第1テーパ部401は、導波光の入射側に近いほど水平方向に沿った両スラブ領域101sの幅が小さくなるようなテーパ形状を有しており、その入射端における両スラブ領域101sの幅は概ね0である。第1テーパ部401におけるリブ領域101rの水平方向の幅は、第1テーパ部401の全域において w_i である。また、第1テーパ部401におけるリブ領域101rの断面形状は、アーム導波路306の矩形コアの断面形状と概ね合同である。第1テーパ部401の導波光伝搬方向における長さ l_a は、 $30\mu\text{m}$ （マイクロメートル）である。第1テーパ部401の出射端は、第2テーパ部402の入射端と接続されている。すなわち、第2テーパ部402は、第1テーパ部401における導波光の出射側の端部と隣接して配置されている。

[0081] 第2テーパ部402は、導波光の入射側に近いほど水平方向に沿ったリブ領域101rの幅が小さくなるようなテーパ形状を有している。第2テーパ部402の入射端におけるリブ領域101rの水平方向の幅は第1テーパ部401の同幅と同じ w_i であり、第2テーパ部402の出射端におけるリブ領域101rの水平方向の幅は w_r である。第2テーパ部402の導波光伝搬方向における長さ l_b は、 $30\mu m$ である。

[0082] なお、 l_a および l_b はいずれも、 $30\mu m$ に限定されず、光導波路素子100'における光損失の増大および高次モード励起を防ぐことができる限り短くしてもよい。

[0083] アーム導波路306の矩形コアの幅(w_i)が $500nm$ より大きくなると、高次モード励起が生じる虞が高くなる。高次モード励起が生じると、光強度変調における消光比または光位相変調におけるQ値が低下する。

[0084] 一方、光導波路素子100'では、リブ領域101rの幅(w_r)が $700nm$ 以上に大きくならない限りは、高次モード励起が生じない。よって、第1テーパ部401において、矩形コアと合同の断面形状を有しているリブ領域101rに両スラブ領域101sを追加すると共に、両スラブ領域101sの水平方向の幅を徐々に広げる。また、第2テーパ部402において、リブ領域101rの水平方向の幅を w_i ($500nm$) から w_r ($650nm$) に徐々に広げる。こうして、光損失が小さく、消光比またはQ値が高い光変調素子を構成することができる。そして、光導波路素子100'を、マッハーツェンダー干渉計の位相変調部301として用いた場合に、光損失の増大および高次モード励起が引き起こされることを防ぐことができる。

[0085] なお、図4では、アーム導波路306と位相変調部301との接続を例に説明を行ったが、アーム導波路307と位相変調部302との接続についても、光導波路素子100'の構成を適用することができる。

[0086] さらに、位相変調部301とアーム導波路308との接続、ならびに、位相変調部302とアーム導波路309との接続についても、光導波路素子100'の構成を適用することができる。この場合、アーム導波路306と位

相変調部 301 との接続の例に対して、入射端と出射端とを反対にすればよい。

[0087] 位相変調部 301 および 302 の、導波光伝搬方向における長さは例えば、3 mm（ミリメートル）である。

[0088] （空乏層および導電性を有する各領域のプロファイル）

図 5 および図 6 はそれぞれ、空乏層 113 における導波光の電界プロファイルである。図 5 および図 6 には、空乏層 113 のプロファイルの一例が、導波光（TE モード）の電界絶対値の等高線およびリブ導波路コア 101 の輪郭と共に表示されている。なお、この等高線は、導波光の電界絶対値のピークを 1 に規格化し、電界絶対値が 1 dB 間隔で描かれている。図 5 および図 6 において“0”と表示された点が、電界絶対値のピーク（0 dB）を示している。図 5 に示されたプロファイルを有する空乏層 113 によって、導波光電界プロファイルと空乏層 113 との重なりが最大となり、光導波路素子 100 の駆動電圧を低減するという効果が最大となる。

[0089] 図 5 および図 6 において、空乏層 113 の水平方向の両端の位置は概ね、導波光電界の絶対値がピーク値より 13 dB 減衰する点にある。この場合、空乏層 113 の水平方向の広がり、当該ピーク値の位置を中心として水平方向両側にそれぞれ約 1 μ m である。この場合、図 3 の（a）等にした位相変調部 301 および 302（それぞれ、長さ 3 mm）では、上述した PN 接合による電気容量は約 12 pF である。この PN 接合に接続される直列電気抵抗は、PN 接合の両側に対して合計して約 8 オームであるので、RC 時定数は約 100 ps となる。10 Gbaud 以上のシンボルレートで駆動するには、RC 時定数が概ね 100 ps 以下であることが必要とされ、この PN 接合による電気容量は 12 pF であることが好ましい。電気容量は、空乏層 113 の水平方向の広がり、概ね比例するので、空乏層 113 の水平方向における両端の位置は、導波光電界の絶対値がピーク値より概ね 13 dB 減衰する点よりも、空乏層 113 の中心側に存在することが好ましい。図 5 または図 6 と異なる空乏層 113 のプロファイルを呈する場合であっても、同

様のことが言える。

[0090] リブ導波路コア101の両スラブ領域101sでは、空乏層113の垂直方向の位置（高さ）は、リブ導波路コア101の下面を基準として両スラブ領域101sの厚みの半分の位置、すなわち、 $h_s/2$ とする。これにより、両スラブ領域101sでの導波光の電界プロファイルと空乏層113との重なりが最大となる。従って、リブ導波路コア101の下面の高さを基準とした、両スラブ領域101sにおける空乏層113の高さは、 $h_s/2$ （但し、 h_s ：両スラブ領域101sの厚み）であることが好ましい。

[0091] ここで、リブ導波路コア101において、両スラブ領域101sの下面とリブ領域101rの下面とはいずれも、垂直方向の位置が同じであり、リブ導波路コア101の下面は平坦である。両スラブ領域101sでは、垂直方向に関し、下半分に側方領域106および側方領域107が形成されており、上半分に側方領域110および側方領域111が形成されていることにより、直列電気抵抗が低減されている。両スラブ領域101sにおいて、側方領域106、側方領域107、側方領域110、および側方領域111の厚みはそれぞれ、 $h_s/2$ である。

[0092] リブ領域101rにおいて、導波光の電界プロファイルと空乏層113との重なりを最大とするためには、リブ導波路コア101の下面の高さを基準とした、リブ領域101rにおける空乏層113の高さを、 $h_r/2$ とする。

[0093] リブ領域101rでは、直列電気抵抗を低減するという観点から、側方領域106および107より厚い中央領域105、ならびに、側方領域110および111より厚い中央領域109を形成することができる。一方、この場合、キャリア吸収による光損失は大きくなる。そこで、光導波路素子100では、中央領域105の厚みを側方領域106および107と同じとし、中央領域109の厚みを側方領域110および111と同じとする。リブ導波路コア101の下面の高さを基準とした場合、リブ領域101rにおける中央領域105の下面の高さは、 $h_r/2 - h_s/2$ であり、リブ領域10

1 rにおける中央領域109の上面の高さは、 $h_r/2 + h_s/2$ である。

[0094] また、リブ領域101 rは、中央領域105および109の直上、ならびに、中央領域105および109の直下のうち少なくとも一方に、P型またはN型ドーパントが意図的に注入されていないアンドープ領域を有している。当該アンドープ領域では、わずかに拡散によるドーパント分布が生じるケースもあり得るが、このケースは光導波路素子100の光学的特性にほとんど影響を与えない。

[0095] このような空乏層113を形成するためには、光学リソグラフィとドライエッチングとにより、リブ導波路コア101を形成し、その後、リブ領域101 rと両スラブ領域101 sとに、別々にイオン注入を行う。リブ領域101 rにおけるイオン注入と両スラブ領域101 sにおけるイオン注入とは、どちらを先に行っても構わない。直列抵抗の低減が必要である場合、中央領域105および109の厚みを大きくすればよい。

[0096] 図5に示したプロファイルでは、リブ領域101 rと両スラブ領域101 sとの境界において、空乏層113が垂直方向に延伸している。これにより、中央領域105と側方領域106との接続に伴う電気抵抗、中央領域105と側方領域107との接続に伴う電気抵抗、中央領域109と側方領域110との接続に伴う電気抵抗、ならびに、中央領域109と側方領域111との接続に伴う電気抵抗のうち少なくとも1つが大きくなる。これにより直列電気抵抗が大きくなる虞がある。これを避けるために、空乏層113は、図6に示すように、水平方向に一直線に（垂直方向に延伸する部分が無いように）形成されてもよい。この場合、リブ領域101 rにおける空乏層113の高さは、両スラブ領域101 sにおける空乏層113の高さと同じく $h_s/2$ とする。またこのとき、リブ領域101 rにおける中央領域109の上面の高さは、 h_s となる。

[0097] このような空乏層113を形成するためには、まず、リブ領域101 rと両スラブ領域101 sとに、同時にイオン注入を行う。この段階では、エッチング後において、リブ導波路コア101における後に両スラブ領域101

sとなる位置の厚みは、リブ領域101rの厚みと等しく、 h_r である。その後、光学リソグラフィとドライエッチングとによりリブ導波路コア101が形成され、両スラブ領域101sの高さが h_s となる。

[0098] 他の回路との集積化を行うという目的のため、下記のことが可能である。すなわち、光学リソグラフィとドライエッチングとによるリブ導波路コア101の形成をイオン注入前に行い、かつ、イオン注入工程の簡便化のために、リブ領域101rと両スラブ領域101sとに同時にイオン注入を行い、空乏層113を形成する。この場合、空乏層113のプロファイルは、図5および図6に示したものと異なる。リブ領域101rにおいて、空乏層113の垂直方向の位置は $h_r - h_s / 2$ であり、中央領域105の下面の高さは $h_r - h_s$ である。

[0099] 以上より、導波光の電界プロファイルと空乏層113との重なりが増大による駆動電圧の低減、直列電気抵抗低減による高速屈折率変調、集積化のための加工プロセスの簡便化のいずれを第一優先に選択するかに応じて、空乏層113のプロファイルが異なる。これらに対して、リブ領域101rにおける空乏層113の垂直方向の位置（高さ）は、リブ導波路コア101の下面の高さから測って、基板102から離れる方向（上方向）に向かって、 $h_s / 2$ 以上、かつ、 $h_r - h_s / 2$ 以下の範囲となる。但し、 h_s ：両スラブ領域101sの厚み、 h_r ：リブ領域101rの厚みである。

[0100] なお、以上では、光導波路素子100について説明を行ったが、光導波路素子100'においても同様のことが言える。また、以上の説明は、第1の導電性・第2の導電性が、P型・N型の組み合わせであっても成立するし、N型・P型の組み合わせであっても成立する。

[0101] （付記事項）

また、本発明の光導波路素子は、突出部と、第1方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い2つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、上記コア部は、互いに上記第1方向に対して垂直な第2方向に重ねて配置された、PN接合を形成する第1コア領域

および第2コア領域を有しており、上記第1コア領域と上記第2コア領域との間に、上記突出部から2つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成されていてもよい。

[0102] 上記の構成によれば、リブ導波路をコア部としているため、導波光（コア部を導波する光）が突出部およびその近傍に局在し、その電界分布がコア部の側壁（非突出部の先端）にまで至らない。このため、コア部の側壁に荒れがあっても、側壁の粗さに起因する光の散乱が低減され、その結果、光損失が低減される。また、上記の構成によれば、第1コア領域と第2コア領域との間に、突出部から2つの非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成されているので、（1）第1コア領域および第2コア領域のドーピング密度を高くしたり、（2）素子長を長くしたりせずとも、屈折率変調の効率を高めて駆動電圧を低下させることが可能になる。すなわち、光損失の増大および光導波路素子の大型化を招来することなく、駆動電圧の低減を実現することができる。

[0103] また、本発明の光導波路素子において、上記空乏層は、上記突出部から2つの上記非突出部のうち両方にまで延伸していてもよい。

[0104] 上記の構成によれば、非突出部において、導波光の電界プロファイルと空乏層との空間的重なりを増すことができる。これにより、キャリア密度を変化させる効率を高め、さらなる駆動電圧の低減が可能となる。

[0105] また、本発明の光導波路素子は、上記コア部における導波光の電界ピーク値に対して、上記導波光の電界の減衰率が13dB以内になるように、上記空乏層の上記第1方向における端が定められていてもよい。

[0106] 空乏層の第1方向の拡がりが増すと、第1コア領域および第2コア領域によるPN接合容量が増大し、RC時定数に起因する速度制限が顕著になる。これを避けるように、空乏層の第1方向における端を配置することが好ましい。

[0107] また、本発明の光導波路素子は、少なくとも1つの上記非突出部において、上記第1コア領域の上記第2方向の厚みと、上記第2コア領域の上記第2

方向の厚みとが等しくてもよい。

[0108] また、本発明の光導波路素子において、少なくとも1つの上記非突出部における上記空乏層の上記第2方向の位置は、上記突出部における上記空乏層の上記第2方向の位置と異なってもよい。

[0109] そして、本発明の光導波路素子において、少なくとも1つの上記非突出部における上記空乏層の上記第2方向の位置は、上記突出部における上記空乏層の上記第2方向の位置より低くてもよい。

[0110] 上記の構成によれば、コア部の全領域において、導波光の電界プロファイルと空乏層との空間的重なりを増すことができる。これにより、キャリア密度を変化させる効率を高め、さらなる駆動電圧の低減が可能となる。

[0111] また、本発明の光導波路素子において、上記光導波路素子は、光の入射側および出射側の一方に近いほど上記第1方向に沿った各上記非突出部の幅が小さくなるようなテーパ形状を有する第1テーパ部と、上記第1テーパ部における光の入射側および出射側の他方の端部と隣接して配置されており、光の入射側および出射側の一方に近いほど上記第1方向に沿った上記突出部の幅が小さくなるようなテーパ形状を有する第2テーパ部とを有していてもよい。

[0112] 上記の構成によれば、本発明の光導波路素子を、マッハツェンダー干渉計の各アームの位相変調部として用いた場合に、光損失の増大および高次モード励起が引き起こされることを防ぐことができる。

[0113] また、本発明の光導波路素子は、上記第2方向に関し、上記コア部の下面の高さを基準とした、少なくとも1つの上記非突出部における上記空乏層の高さは、 $h_s/2$ （但し、 h_s ：該非突出部の厚み）であってもよい。

[0114] 上記の構成によれば、非突出部での導波光の電界のプロファイルと空乏層との重なりが最大となる。

[0115] また、本発明の光導波路素子は、上記第2方向に関し、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記空乏層の高さは、 $h_s/2$ 以上、かつ、 $h_r - h_s/2$ 以下（但し、 h_s ：少なくとも1つの上記非突出

部の厚み、 h_r ：上記突出部の厚み）であってもよい。

[0116] 上記の構成によれば、突出部での導波光の電界のプロファイルと空乏層との重なりが最大となる。

[0117] また、本発明の光導波路素子は、上記空乏層と導波光の電界との重なりが最大となる場合、上記第2方向に関し、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第1コア領域の下面の高さは、 $h_r/2 - h_s/2$ であり、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第2コア領域の上面の高さは、 $h_r/2 + h_s/2$ であってもよい。

[0118] また、本発明の光導波路素子において、上記突出部は、上記第1コア領域および上記第2コア領域の直上、ならびに、上記第1コア領域および上記第2コア領域の直下のうち少なくとも一方に、ドーパントが意図的に注入されていないアンドープ領域を有していてもよい。

[0119] 上記の各構成によれば、コア部全体での導波光の電界のプロファイルと空乏層との重なりをさらに増すことができるとともに、光損失の低減が可能である。

[0120] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

産業上の利用可能性

[0121] 本発明は、光集積回路に用いられる光導波路素子に利用することができる。

符号の説明

[0122] 100 および 100' 光導波路素子
101 リブ導波路コア（コア部）
101_r リブ領域（突出部）
101_s スラブ領域（非突出部）
105 中央領域（第1コア領域の一部）

- 1 0 6 側方領域（第 1 コア領域の一部）
- 1 0 7 側方領域（第 1 コア領域の一部）
- 1 0 8 接続領域（第 1 コア領域の一部）
- 1 0 9 中央領域（第 2 コア領域の一部）
- 1 1 0 側方領域（第 2 コア領域の一部）
- 1 1 1 側方領域（第 2 コア領域の一部）
- 1 1 2 接続領域（第 2 コア領域の一部）
- 1 1 3 空乏層
- 4 0 1 第 1 テーパ部
- 4 0 2 第 2 テーパ部

請求の範囲

[請求項1] 突出部と、第1方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い2つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、

上記コア部は、互いに上記第1方向に対して垂直な第2方向に重ねて配置された、PN接合を形成する第1コア領域および第2コア領域を有しており、

上記第1コア領域と上記第2コア領域との間に、上記突出部から2つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成され、

上記2つの非突出部のそれぞれにおける上記空乏層の上記第2方向の位置は、上記突出部における上記空乏層の上記第2方向の位置より低いことを特徴とする光導波路素子。

[請求項2] 上記空乏層は、上記突出部から2つの上記非突出部のうち両方にまで延伸していることを特徴とする請求項1に記載の光導波路素子。

[請求項3] 上記コア部における導波光の電界ピーク値に対して、上記導波光の電界の減衰率が13dB以内になるように、上記空乏層の上記第1方向における端が定められていることを特徴とする請求項1または2に記載の光導波路素子。

[請求項4] 少なくとも1つの上記非突出部において、上記第1コア領域の上記第2方向の厚みと、上記第2コア領域の上記第2方向の厚みとが等しいことを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の光導波路素子。

[請求項5] 上記光導波路素子は、

光の入射側および出射側の一方に近いほど上記第1方向に沿った各上記非突出部の幅が小さくなるようなテーパ形状を有する第1テーパ部と、

上記第1テーパ部における光の入射側および出射側の他方の端部

と隣接して配置されており、光の入射側および出射側の一方に近いほど上記第1方向に沿った上記突出部の幅が小さくなるようなテーパ形状を有する第2テーパ部とを有していることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の光導波路素子。

[請求項6]

上記第2方向に関し、

上記コア部の下面の高さを基準とした、少なくとも1つの上記非突出部における上記空乏層の高さは、

$$h_s / 2 \quad (\text{但し、} h_s : \text{該非突出部の厚み})$$

であることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の光導波路素子。

[請求項7]

上記第2方向に関し、

上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記空乏層の高さは、

$$h_s / 2 \text{ 以上、かつ、} h_r - h_s / 2 \text{ 以下} \quad (\text{但し、} h_s : \text{少なくとも1つの上記非突出部の厚み、} h_r : \text{上記突出部の厚み})$$

であることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の光導波路素子。

[請求項8]

上記空乏層と導波光の電界との重なりが最大となる場合、

上記第2方向に関し、

上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第1コア領域の下面の高さは、

$$h_r / 2 - h_s / 2$$

であり、

上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第2コア領域の上面の高さは、

$$h_r / 2 + h_s / 2$$

であることを特徴とする請求項7に記載の光導波路素子。

[請求項9]

上記突出部は、上記第1コア領域および上記第2コア領域の直上、

ならびに、上記第1コア領域および上記第2コア領域の直下のうち少なくとも一方に、ドーパントが意図的に注入されていないアンドープ領域を有していることを特徴とする請求項7に記載の光導波路素子。

[請求項10]

突出部と、第1方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い2つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、

上記コア部は、互いに上記第1方向に対して垂直な第2方向に重ねて配置された、PN接合を形成する第1コア領域および第2コア領域を有しており、

上記第1コア領域と上記第2コア領域との間に、上記突出部から2つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成され、

上記空乏層と導波光の電界との重なりが最大となる場合、

上記第2方向に関し、

上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第1コア領域の下面の高さは、

$$h_r / 2 - h_s / 2 \quad (\text{但し、} h_s : \text{少なくとも1つの上記非突出部の厚み、} h_r : \text{上記突出部の厚み})$$

であり、

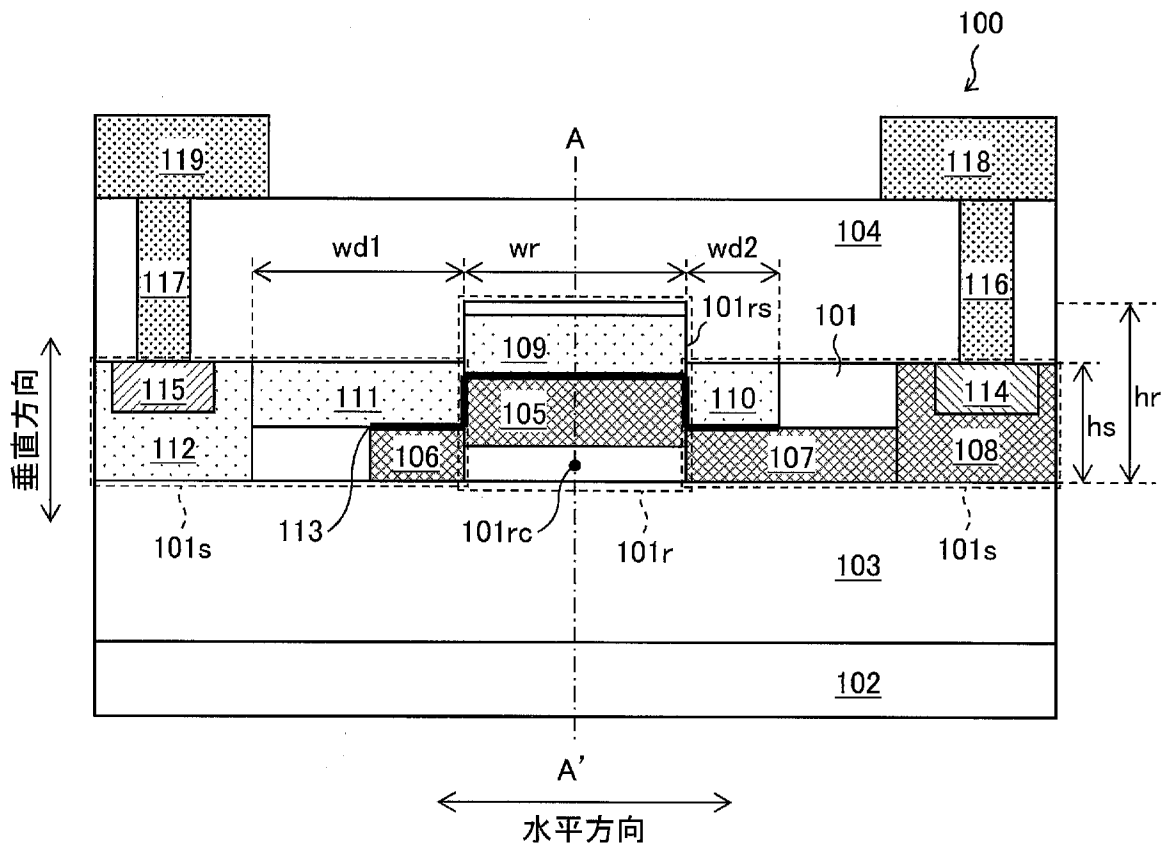
上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第2コア領域の上面の高さは、

$$h_r / 2 + h_s / 2$$

であることを特徴とする光導波路素子。

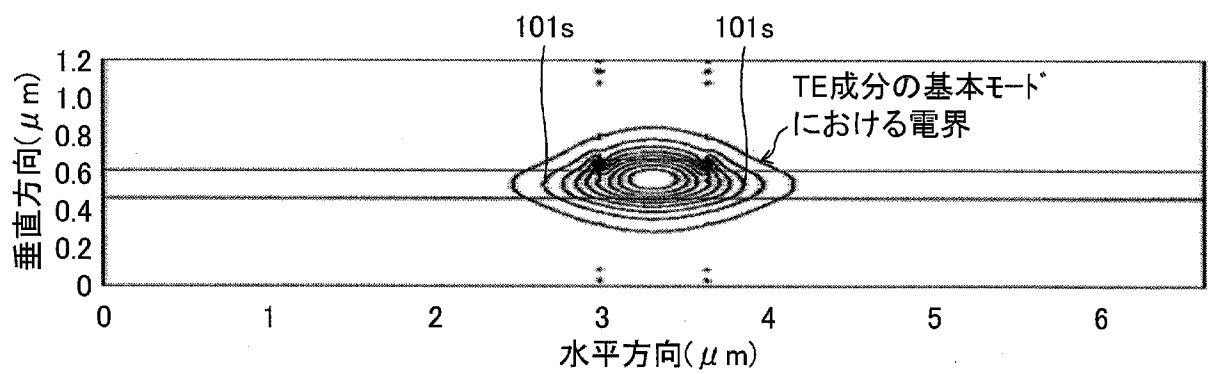
[図1]

図 1



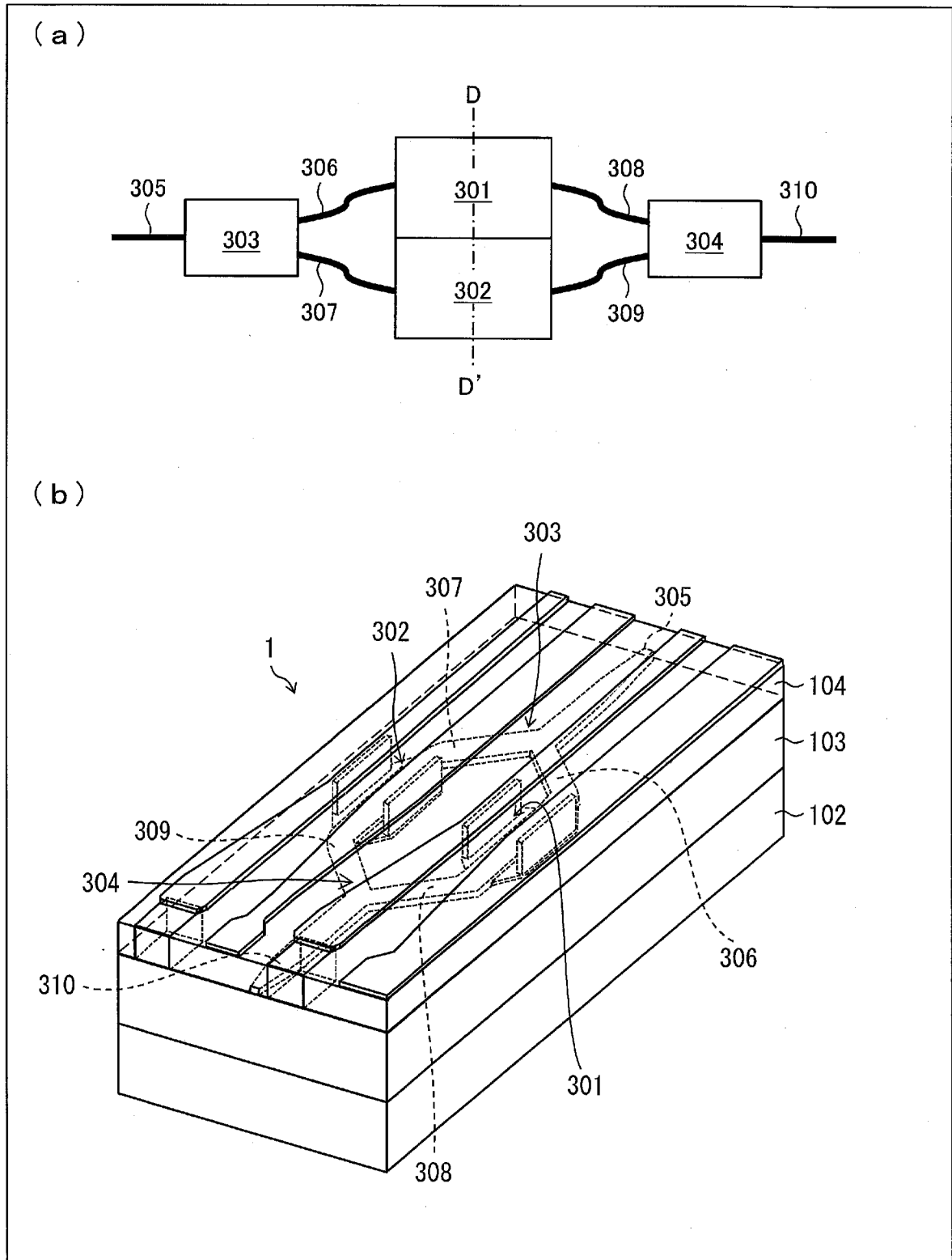
[図2]

図 2



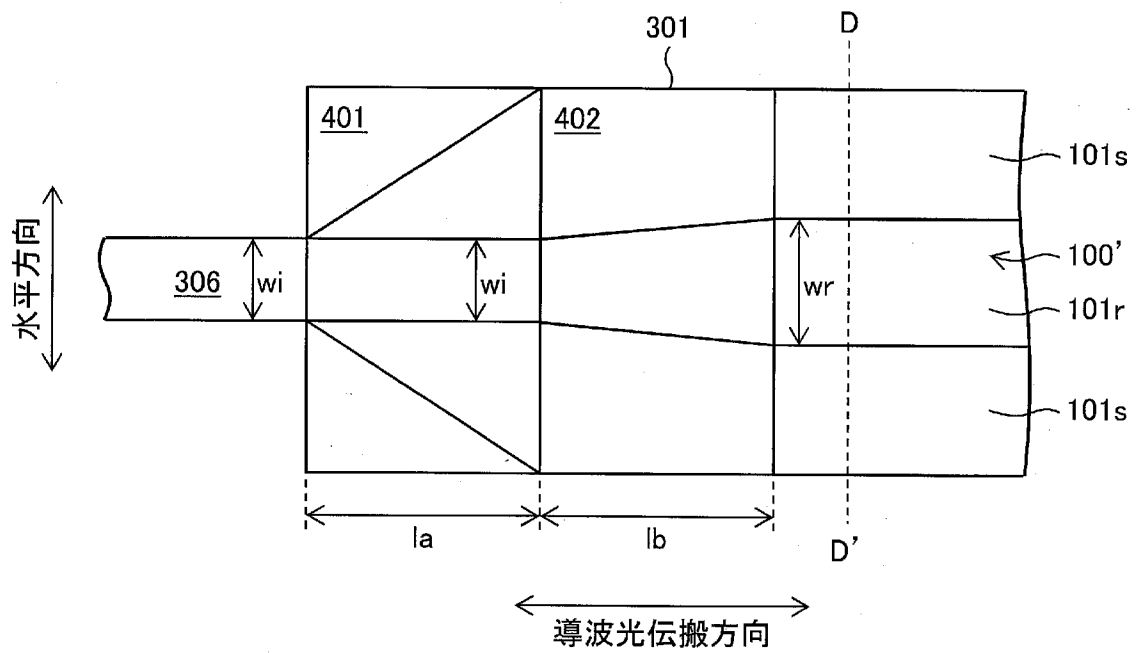
[図3]

図 3



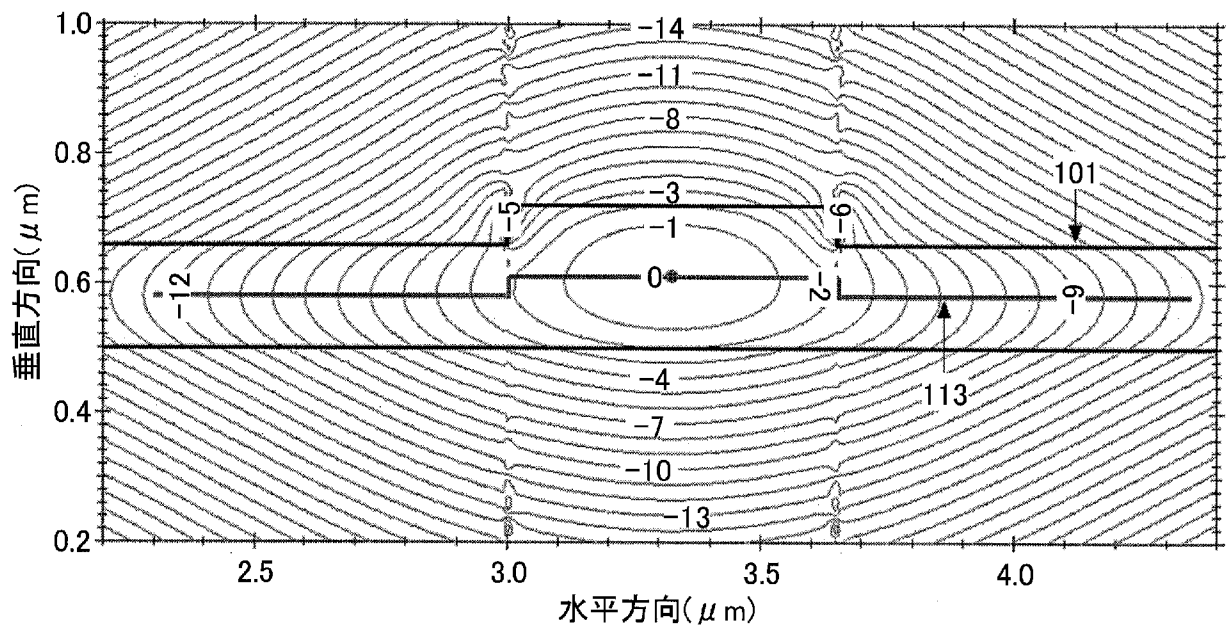
[図4]

図 4



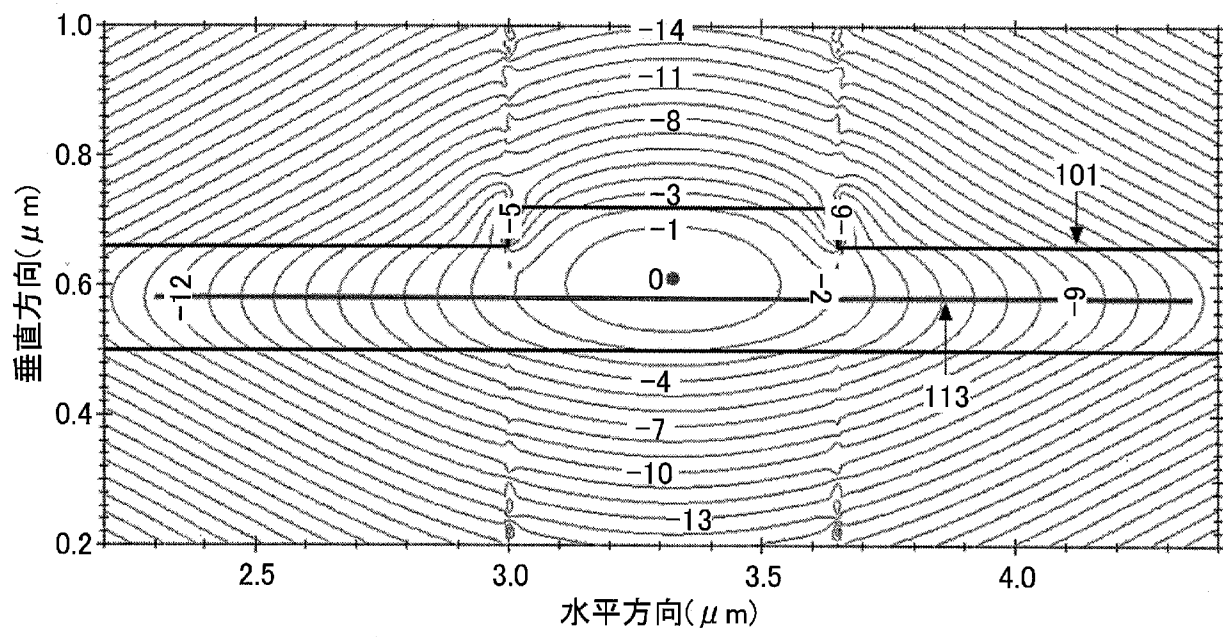
[図5]

図 5



[図6]

図 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068864

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/025(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02B6/122(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)

G02B6/12-6/14, G02F1/00-1/125, 1/21-7/00

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

Google Scholar

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011/0206313 A1 (DONG et al.), 25 August 2011 (25.08.2011), paragraphs [0029] to [0031], [0037], [0040]; fig. 3C, 6A & WO 2011/102883 A1	1-10
A	US 2006/0133754 A1 (PATEL et al.), 22 June 2006 (22.06.2006), entire text; all drawings & US 2007/0280616 A1	1-10
A	US 2010/0060970 A1 (CHEN), 11 March 2010 (11.03.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-10



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

"I" 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
25 July 2016 (25.07.16)

Date of mailing of the international search report
02 August 2016 (02.08.16)

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

International application No.

PCT/JP2016/068864

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Michael R. Watts, et al., Low-Voltage, Compact, Depletion-Mode, Silicon Mach-Zehnder Modulator, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2010.01.22, Vol.16, No.1, pp.159-164	1-10
A	JP 2013-190492 A (Fujitsu Ltd.), 26 September 2013 (26.09.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	US 2014/0127842 A1 (SONG et al.), 08 May 2014 (08.05.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2012-118402 A (Fujikura Ltd.), 21 June 2012 (21.06.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2014-126728 A (Fujikura Ltd.), 07 July 2014 (07.07.2014), entire text; all drawings & US 2015/0293384 A1 & WO 2014/103432 A & CN 104885003 A	1-10
P,A	US 2016/0004104 A1 (FENG et al.), 07 January 2016 (07.01.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068864

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068864

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Document 1: US 2011/0206313 A1 (DONG et al.), 25 August 2011 (25.08.2011), paragraphs [0029] to [0031], [0037], [0040]; fig. 3C, 6A & WO 2011/102883 A1

Claims are classified into the following two inventions.

(Invention 1) claims 1-9

Claims 1-9 have a special technical feature of "an optical waveguide element wherein: a rib waveguide is included as a core section, said rib waveguide having a protruding section, and two non-protruding sections, which are disposed in the first direction such that the non-protruding sections sandwich the protruding section therebetween, and which have a lower height than the protruding section; the core section has a first core region and a second core region, which are disposed to overlap each other in the second direction perpendicular to the first direction, and which form a PN junction; a depletion layer is formed between the first core region and the second core region, said depletion layer extending from the protruding section to at least one of the two non-protruding sections; the depletion layer positions in the second direction, said positions being in the two non-protruding sections, are lower than the position of the depletion layer of the protruding section, said position being in the second direction". Consequently, the claims are classified as the inventions of the invention group 1.

(Invention 2) claim 10

With respect to claim 1, which is classified as the invention of the invention group 1, claim 10 has a common technical feature of "an optical waveguide element wherein: a rib waveguide is included as a core section, said rib waveguide having a protruding section, and two non-protruding sections, which are disposed in the first direction such that the non-protruding sections sandwich the protruding section therebetween, and which have a lower height than the protruding section; the core section has a first core region and a second core region, which are disposed to overlap each other in the second direction perpendicular to the first direction, and which form a PN junction; and a depletion layer is formed between the first core region and the second core region, said depletion layer extending from the protruding section to at least one of the two non-protruding sections".

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 1.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Further, claim 10 is not dependent on claim 1.

In addition, claim 10 has no relationship such that said claim 10 is substantially same as or equivalent to any claim classified into Invention 1.

Consequently, claim 10 cannot be classified into Invention 1.

(Continued to next extra sheet)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068864

Claim 10 has a special technical feature of "an optical waveguide element wherein: a rib waveguide is included as a core section, said rib waveguide having a protruding section, and two non-protruding sections, which are disposed in the first direction such that the non-protruding sections sandwich the protruding section therebetween, and which have a lower height than the protruding section; the core section has a first core region and a second core region, which are disposed to overlap each other in the second direction perpendicular to the first direction, and which form a PN junction; a depletion layer is formed between the first core region and the second core region, said depletion layer extending from the protruding section to at least one of the two non-protruding sections; and in the case where overlapping of the depletion layer and the electric field of waveguide light becomes maximum, with respect to the second direction, the height of a protruding section lower surface in the first core region with the height of the core section lower surface as reference is $h_r/2 - h_s/2$ (wherein h_s represents the thickness of at least one of the non-protruding sections, and h_r represents the thickness of the protruding sections), and the height of a protruding section upper surface in the second core region with the height of the core section lower surface as reference is $h_r/2 + h_s/2$ ". Consequently, the claim is classified as the invention of the invention group 2.

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページ参照

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/025(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02B6/122(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（IPC））

Int.Cl. G02B6/12-6/14, G02F1/00-1/125, 1/21-7/00

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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）

Google Scholar

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	US 2011/0206313 A1 (DONG et al.) 2011.08.25, 段落[0029]-[0031], [0037], [0040], 図 3C, 図 6A & WO 2011/102883 A1	1-10
A	US 2006/0133754 A1 (PATEL et al.) 2006.06.22, 全文, 全図 & US 2007/0280616 A1	1-10

☒ 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

25.07.2016

国際調査報告の発送日

02.08.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

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）

廣崎 拓登

2 L

5263

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C (続き) . 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	US 2010/0060970 A1 (CHEN) 2010.03.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	Michael R. Watts, et al., Low-Voltage, Compact, Depletion-Mode, Silicon Mach-Zehnder Modulator, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2010.01.22, Vol.16, No.1, pp.159-164	1-10
A	JP 2013-190492 A (富士通株式会社) 2013.09.26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	US 2014/0127842 A1 (SONG et al.) 2014.05.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2012-118402 A (株式会社フジクラ) 2012.06.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2014-126728 A (株式会社フジクラ) 2014.07.07, 全文, 全図 & US 2015/0293384 A1 & WO 2014/103432 A & CN 104885003 A	1-10
P, A	US 2016/0004104 A1 (FENG et al.) 2016.01.07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10

< 第 III 欄の続き >

文献 1 : US 2011/0206313 A1 (DONG et al.)

2011.08.25, 段落[0029]-[0031], [0037], [0040], 図 3C, 図 6A

& WO 2011/102883 A1

請求の範囲は、以下の 2 つの発明に区分される。

(発明 1) 請求項 1-9

請求項 1-9 は、「突出部と、第 1 方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い 2 つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、上記コア部は、互いに上記第 1 方向に対して垂直な第 2 方向に重ねて配置された、PN 接合を形成する第 1 コア領域および第 2 コア領域を有しており、上記第 1 コア領域と上記第 2 コア領域との間に、上記突出部から 2 つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成され、上記 2 つの非突出部のそれぞれにおける上記空乏層の上記第 2 方向の位置は、上記突出部における上記空乏層の上記第 2 方向の位置より低い光導波路素子」という特別な技術的特徴を有しているので、発明 1 に区分する。

(発明 2) 請求項 10

請求項 10 は、発明 1 に区分された請求項 1 と、「突出部と、第 1 方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い 2 つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、上記コア部は、互いに上記第 1 方向に対して垂直な第 2 方向に重ねて配置された、PN 接合を形成する第 1 コア領域および第 2 コア領域を有しており、上記第 1 コア領域と上記第 2 コア領域との間に、上記突出部から 2 つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成される光導波路素子」という共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的特徴は、文献 1 の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

さらに、請求項 10 は、請求項 1 の従属請求項ではない。また、請求項 10 は、発明 1 に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項 10 は発明 1 に区分できない。

そして、請求項 10 は、「突出部と、第 1 方向に沿って該突出部を挟むように配置された、該突出部よりも高さの低い 2 つの非突出部とを有するリブ導波路をコア部として含み、上記コア部は、互いに上記第 1 方向に対して垂直な第 2 方向に重ねて配置された、PN 接合を形成する第 1 コア領域および第 2 コア領域を有しており、上記第 1 コア領域と上記第 2 コア領域との間に、上記突出部から 2 つの上記非突出部の少なくとも何れか一方にまで延伸する空乏層が形成され、上記空乏層と導波光の電界との重なりが最大となる場合、上記第 2 方向に関し、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第 1 コア領域の下面の高さは、 $hr/2 - hs/2$ (但し、 hs : 少なくとも 1 つの上記非突出部の厚み、 hr : 上記突出部の厚み) であり、上記コア部の下面の高さを基準とした、上記突出部における上記第 2 コア領域の上面の高さは、 $hr/2 + hs/2$ である光導波路素子」という特別な技術的特徴を有しているので、発明 2 に区分する。