

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6599981号
(P6599981)

(45) 発行日 令和1年10月30日(2019.10.30)

(24) 登録日 令和1年10月11日(2019.10.11)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 F 1/025 (2006.01) G O 2 F 1/025

請求項の数 14 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-516784 (P2017-516784)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成27年9月21日 (2015. 9. 21)</p> <p>(65) 公表番号 特表2017-529569 (P2017-529569A)</p> <p>(43) 公表日 平成29年10月5日 (2017. 10. 5)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/DE2015/200460</p> <p>(87) 国際公開番号 W02016/045675</p> <p>(87) 国際公開日 平成28年3月31日 (2016. 3. 31)</p> <p>審査請求日 平成30年9月20日 (2018. 9. 20)</p> <p>(31) 優先権主張番号 102014219295.1</p> <p>(32) 優先日 平成26年9月24日 (2014. 9. 24)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 ドイツ (DE)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 509156387 テヒーニシエ ウニヴェルジテート ベルリン ドイツ連邦共和国 10623 ベルリン シュトラッセ デス 17. ユーニ 135</p> <p>(73) 特許権者 517101218 ジコヤ ゲーエムベーハー Sicoya GmbH ドイツ連邦共和国 12489 ベルリン カール-シェーラー-シュトラッセ 16</p> <p>(74) 代理人 110001302 特許業務法人北青山インターナショナル</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 注入変調器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光線 (P) を変調するための注入変調器 (1 0) において、

- 光導波路 (2 0)、および、
- 少なくとも2つのpドープ半導体部分 (1 1 0) と、少なくとも2つのnドープ半導体部分 (2 1 0) と、前記pドープおよびnドープ半導体部分 (1 1 0、2 1 0) 間の少なくとも1つの弱くドーピングされたまたはドーピングされていない中間部分 (3 0 0) とを含むダイオード構造体 (3 0)

を含み、

- 前記pドープ半導体部分 (1 1 0) が、前記導波路 (2 0) の長手方向 (L) において見たときに、前記nドープ半導体部分 (2 1 0) に対してオフセットされて配置され、および

- 前記ダイオード構造体 (3 0) が、前記導波路 (2 0) の共振のない部分に配置され、ここで、導波路減衰は別として、前記導波路 (2 0) 内で案内される前記光線 (P) の光線強度が一定である、注入変調器 (1 0) において、

- 前記pドープ半導体部分 (1 1 0) が、前記導波路 (2 0) の前記長手方向 (L) において見たときに、かつ導波路中心に対して、前記導波路 (2 0) の一方の側に存在し、前記nドープ半導体部分 (2 1 0) が前記導波路 (2 0) の他方の側に存在し、かつ前記中間部分 (3 0 0) が前記導波路中心の領域に存在し、

- 前記半導体部分 (1 1 0、2 1 0) が、前記導波路長手方向 (L) に対して横方向に

10

20

- 、前記導波路(20)の前記導波路中心の方向に延在し、
- 前記pドープ半導体部分(110)が、前記導波路(20)の前記長手方向(L)において見たときに前記nドープ半導体部分(210)との重なりがなく、
 - 前記導波路(20)が、導波する持ち上がった隆起部分(23)と、隆起部長手方向において見たときに前記隆起部分(23)と平行に延びる2つの隣接するウェブ部分(24、25)とを含む隆起導波路であり、
 - 前記pドープ半導体部分(110)が、前記2つのウェブ部分(24、25)の一方に配置され、
 - 前記nドープ半導体部分(210)が、前記2つのウェブ部分(24、25)の他方に配置され、
 - 前記半導体部分(110、210)が、前記2つのウェブ部分(24、25)を起点にして前記導波路(20)の前記隆起部分(23)内へ延在することを特徴とする注入変調器(10)。

10

【請求項2】

請求項1に記載の注入変調器(10)において、

- 前記隆起部分の少なくとも中心に前記pおよびnドープ半導体部分(110、210)がないことを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の注入変調器(10)において、

- 前記pドープ半導体部分(110)が、pドープくし形構造(100)の歯部分を形成し、その歯は前記導波路長手方向(L)において互いに距離を置いて配置され、かつ前記導波路(20)の外側に配置された共通の接触接続部を起点にして、前記導波路長手方向(L)に対して横方向に外側から、前記導波路(20)の前記導波路中心の前記方向に延在し、および
- 前記nドープ半導体部分(210)が、nドープくし形構造(200)の歯部分を形成し、その歯は前記導波路長手方向(L)において互いに距離を置いて配置され、かつ前記導波路(20)の外側に配置された共通の接触接続部を起点にして、前記導波路長手方向(L)に対して横方向に外側から、前記導波路(20)の前記導波路中心の前記方向に延在することを特徴とする注入変調器(10)。

20

【請求項4】

請求項1乃至3の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、

- 前記隆起導波路が、導波層(21)と、下にある下部クラディング層(22)とを含み、および
- 前記nドープ半導体部分(210)のドーピングおよび前記pドープ半導体部分(110)のドーピングが、前記隆起導波路の前記導波層(21)の表面(21a)から前記下部クラディング層(22)まで延在することを特徴とする注入変調器(10)。

30

【請求項5】

請求項1乃至4の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、

- 前記pドープ半導体部分(110)の幅(b)が、隣接するpドープ半導体部分(110)間の距離(A)よりも小さく、および
- 前記nドープ半導体部分(210)の幅(b)が、隣接するnドープ半導体部分(210)間の距離(A)よりも小さいことを特徴とする注入変調器(10)。

40

【請求項6】

請求項2乃至5の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、

- 前記pドープ半導体部分(110)が、第1くし形構造(100)の構成要素を形成し、
- 前記nドープ半導体部分(210)が第2くし形構造(200)の構成要素を形成し、および
- 前記2つのくし形構造(100、200)のくしの背骨部分(120、220)が、前記導波路(20)と平行に整列され、かつ前記隆起導波路の前記持ち上がった隆起部分

50

(23) から距離を置いて存在することを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項7】

請求項6に記載の注入変調器(10)において、前記くしの背骨部分(120、220)が、金属接触接続部によって形成されるか、または金属接触接続部を含むことを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項8】

請求項1乃至7の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、前記弱くドーピングされたまたはドーピングされていない中間部分(300)のドーピングが、前記中間部分(300)の真性電荷キャリア密度未満であることを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項9】

請求項1乃至8の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、共振器がなく、かつ前記導波路(20)全体に共振がないことを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項10】

請求項1乃至9の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、
 - 前記pドープ半導体部分(110)の少なくとも1つが、
 - 前記導波路(20)の前記長手方向(L)において見たときに
 - 斜め反対側に存在する2つのnドープ半導体部分(210)間の中心に配置され、および
 - 前記nドープ半導体部分(210)の少なくとも1つが、
 - 前記導波路(20)の前記長手方向(L)において見たときに
 - 斜め反対側に存在する2つのpドープ半導体部分(110)間の中心に配置されることを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項11】

請求項1乃至10の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、
 - 前記pドープ半導体部分(110)が、pドープくし形構造(100)またはその構成要素を形成し、かつ前記nドープ半導体部分(210)が、nドープくし形構造(200)またはその構成要素を形成し、
 - 前記pドープくし形構造(100)が、前記導波路(20)の一方の側に配置され、かつ前記nドープくし形構造(200)が、前記導波路(20)の他方の側に配置され、および
 - 前記2つのくし形構造の歯が、前記導波路(20)の前記導波路中心の前記方向において整列されることを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項12】

請求項1乃至11の何れか1項に記載の注入変調器(10)において、
 - 前記導波路(20)がMZI変調器(400)を形成し、および
 - 前記MZI変調器のアーム部分の少なくとも1つが、電荷キャリアを注入するためのダイオード構造体(30)を備えることを特徴とする注入変調器(10)。

【請求項13】

請求項1乃至12の何れか1項に記載の注入変調器(10)と、光線源とを含む構成において、前記pドープ半導体部分(110)間の互いの間の距離および前記nドープ半導体部分(210)間の互いの間の距離が、前記光線源の前記光線(P)の波長の半分超もしくはは未満であるか、または前記半分の整数倍超もしくはは未満であることを特徴とする構成。

【請求項14】

光線(P)を変調するための方法であって、注入ダイオード構造体を用いて、電荷キャリアが導波路(20)の共振のない部分に注入され、ここで、
 - 導波路減衰は別として
 - 前記導波路(20)内で案内される前記光線(P)の光線強度が一定であり、または先に注入された電荷キャリアがそれから引き抜かれる、方法において、
 - 少なくとも2つのpドープ半導体部分(110)と、少なくとも2つのnドープ半導体部分(210)と、前記pドープおよびnドープ半導体部分(110、210)間の少なくとも1つの弱くドーピングされたまたはドーピングされていない中間部分(300)とを含むダイオード構造体(30)を用いて、正孔の注入または引抜きが前記導波路(2

10

20

30

40

50

0)の一方の側から実行され、かつ電子の注入または引抜きが前記導波路(20)の他方の側から実行され、

- 前記pドープ半導体部分(110)が、導波路長手方向(L)において見たときに、かつ導波路中心に対して前記導波路(20)の一方の側に存在し、前記nドープ半導体部分(210)が前記導波路(20)の他方の側に存在し、かつ前記中間部分(300)が前記導波路中心の領域に存在し、

- 前記半導体部分(110、210)が、前記導波路長手方向(L)に対して横方向に、前記導波路(20)の前記導波路中心の方向に延在し、

- 前記pドープ半導体部分(110)が、前記導波路(20)の前記長手方向(L)において見たときに前記nドープ半導体部分(210)に対してオフセットされ、かつ前記nドープ半導体部分(210)に対して重なりがなく、

- 前記導波路(20)が、導波する持ち上がった隆起部分(23)と、隆起部長手方向において見たときに前記隆起部分(23)と平行に延びる2つの隣接するウェブ部分(24、25)とを含む隆起導波路であり、

- 前記pドープ半導体部分(110)が、前記2つのウェブ部分(24、25)の一方に配置され、

- 前記nドープ半導体部分(210)が、前記2つのウェブ部分(24、25)の他方に配置され、

- 前記半導体部分(110、210)が、前記2つのウェブ部分(24、25)を起点にして前記導波路(20)の前記隆起部分(23)内へ延在することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光線を変調するための変調調整器に関する。

【0002】

導波路と組み合わせた光信号の変調に関して、例えば通信技術、センサシステム、画像伝送等においてなど、複数の利用分野が存在する。特に半導体材料(例えばシリコン、InP、GaAsなど)に一体化される電気光学変調器は、ここで重要な役割を果たす。シリコン導波路をベースとする電気光学変調器は、ますます魅力的なものになっており、なぜなら、それらは、いわゆるオンチップ、チップツーチップ、ファイバ通信等の光ブロードバンド伝送にとって重要な構成要素を構成するからである。光接続を用いると、これまで一般的であった金属ベース接続と比較して、中程度のエネルギー消費で、これまでよりも大幅に広い帯域幅を得ることが可能である。

【0003】

そのような伝送リンクの光変調器構成要素の様々な設計が知られている。最もよく知られている設計は、マッハツェンダー変調器(Liu et al., Optics Express, 15, 660, 2007)、リング共振器(Xu et al., Nature, 435, 325, 2005)およびファブリーペロー共振器(Schmidt et al., Optics Express, 16, 334, 2008)である。

【0004】

マッハツェンダー変調器は、高データ速度でのメッセージ伝送において使用されることが多い。マッハツェンダー変調器の主な利点は、広い光帯域、すなわち、変調されるべき光の波長の変化に対する変調器の高い許容度および(消光比の)高い達成可能な変調深さにある。

【0005】

導波路ベースのマッハツェンダー変調器(Liu et al., Optics Express, 15, 660, 2007)において、光は変調器の少なくとも1つのアーム部分において電気光学材料を通過する。電気光学変調器の屈折率(または吸収)は、電圧を印加することによって変化させることができる。結果として、光波は、前記アーム部分で位相変化を経験する。位相変化が、変調器の他方のアーム部分を通過する光波に対して

10

20

30

40

50

(または の奇数の整数倍)である場合、2つの波が重なる時、弱め合う干渉がマッハツェンダー変調器の出力部で起こる。変調器は、強め合う干渉の状態と弱め合う干渉の状態との間で操作され得、振幅変調器とも呼ばれる。さらに、変調器の構造はまた、同じ振幅であるが異なる位相の状態間で操作され得、位相変調器とも呼ばれる。同様に、これらの状態の組合せ間で切り換えることも可能である。これは、一般に、シンボル(同じくより高い変調フォーマット)によって伝送可能なビットを増大するために使用される。この位相変化を達成するために、光は、電気光学材料中、通常ミリメートルからセンチメートルの範囲の経路長さを通すなければならない。マッハツェンダー変調器の前記経路長さ、従って最小構造長さは、電気光学効果の強度に依存する。

【0006】

10

電気光学効果を生じさせるために、半導体中、導波路内のまたはその近くの材料領域がドーピングされる。これに関して、例として、シリコンオンインシュレータ(SOI)導波路において、p-i-nまたはp-nダイオード構造体がドーピングによって形成される(Reed et al., Nature Photonics, 4, 518, 2010)。そのようなダイオード構造体を用いて、導波路内の電荷キャリア密度を、目標を定めた方法で変化させることができる。いわゆる自由キャリアプラズマ分散効果の結果として、これは導波路内の屈折率のおよび吸収挙動の変動をもたらす(Soref et al., IEEE J. Quant. Electron., 23, 123, 2004)。この場合、ダイオードに順方向に電圧を印加することによって、電荷キャリアを導波路に注入すること(注入とも称される)が可能であり、またはダイオードに逆方向に電圧を印加することによって、電荷キャリアを導波路から引き抜くこと(空乏とも称される)が可能である。

20

【0007】

「空乏」原理による電気光学変調器において、導波路コア自体は、pおよび/またはnドーピングされる。光は、光導波路内の電荷キャリアの低減によって変調される。空乏変調器における電荷キャリアの引抜きによって、非常に高い変調速度が達成されることが知られている。しかしながら、導波路コアのドーピングは、高い吸収に、従って高い光の損失につながる。

【0008】

Z.-Y. Liらによる刊行物(Opt. Express 17, 15947, 2009)は、導波路に対してp-n接合内の「空乏領域」の長さを伸ばすために使用可能な空乏変調器におけるp-nダイオードの交互のp-およびnドーピング領域を開示している。結果として、電気光学効果は増大され得、従って変調器の構造的寸法は低減され得る。変調器の変調速度をこの構成によって増大することはできない。

30

【0009】

特許請求項1の前提部による特徴を有する注入変調器は、刊行物“CMOS compatible fully integrated Mach-Zehnder interferometer in SOI technology”, P. Dainesi et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 12, No. 6, June 2000から知られている。

40

【発明の概要】

【0010】

本発明は、高速で大きい変調効果と、同時に比較的低い光減衰とを達成することが可能な注入変調器を特定するという目的に基づく。

【0011】

この目的は、特許請求項1で特許請求される特徴を有する注入変調器によって本発明により達成される。本発明による変調器の有利な構成は、従属項に特定される。

【0012】

その結果、pドーピング半導体部分が、導波路の長手方向において見たときに、かつ導波路中心に対して導波路の一方の側に存在し、nドーピング半導体部分が導波路の他方

50

の側に存在し、かつ中間部分が導波路中心の領域に存在し、半導体部分が、それぞれの場合に、導波路長手方向に対して横方向に、導波路の導波路中心の方向に延在し、およびpドーピング半導体部分が、導波路の長手方向において見たときに、それぞれの場合にnドーピング半導体部分との重なりがないことが本発明により提供される。

【0013】

本発明による注入変調器の著しい利点は、pドーピング半導体部分およびnドーピング半導体部分が、本発明によるそれらの配置の結果として、比較的高度にドーピングされ得、その結果、導波路において比較的強力な電気光学効果を達成することが可能であるという事実に見ることができる。この場合、それらの重ならない構成により、高度にドーピングされた半導体部分により引き起こされる追加的な減衰はごくわずかである。

10

【0014】

pドーピング半導体部分およびnドーピング半導体部分は、好ましくは、それぞれ並列に電氣的に接続される。

【0015】

導波路およびダイオード構造体の構成に関して、導波路が、導波する持ち上がった隆起部分と、隆起部長手方向において見たときに隆起部と平行に延びる2つの隣接するウェブ部分とを含む隆起導波路であり、pドーピング半導体部分が、2つのウェブ部分の一方に配置され、nドーピング半導体部分が、2つのウェブ部分の他方に配置され、および隆起部分の少なくとも中心にpおよびnドーピング半導体部分がない場合に特に有利であると考えられる。

20

【0016】

変調領域における最小導波路減衰に関して、隆起部分全体にpおよびnドーピング半導体部分がない場合に有利であると考えられる。

【0017】

導波路領域における特に高い電界強度に関して、pドーピング半導体部分が、pドーピングくし形構造の歯部分を形成し、その歯は導波路長手方向において互いに距離を置いて配置され、かつそれぞれの場合に、導波路の外側に配置された共通の接触接続部を起点にして、導波路長手方向に対して横方向に外側から、導波路の導波路中心の方向に延在し、およびnドーピング半導体部分が、nドーピングくし形構造の歯部分を形成し、その歯は導波路長手方向において互いに距離を置いて配置され、かつ導波路の外側に配置された共通の接触接続部を起点にして、それぞれの場合に、導波路長手方向に対して横方向に外側から、導波路の導波路中心の方向に延在する場合に有利であると考えられる。

30

【0018】

好ましくは、隆起導波路は、導波層と、下にある下部クラディング層とを含む。隆起導波路のそのような構成の場合、nドーピング半導体部分のドーピングおよびpドーピング半導体部分のドーピングは、それぞれの場合に、隆起導波路の導波層の表面から下部クラディング層まで延在する場合に有利である。

【0019】

好ましくは、pドーピング半導体部分の幅およびnドーピング半導体部分の幅は、それぞれの場合に、同じドーピングの隣接する半導体部分間の距離よりも小さく、そのような構成は、導波路内の導波路減衰を小さいものに維持する。特に好ましくは、半導体部分の幅と、隣接する半導体部分間の距離との間の比率は、1/4未満である。

40

【0020】

半導体部分の構造および構成に関して、pドーピング半導体部分が第1くし形構造の構成要素を形成し、およびnドーピング半導体部分が第2くし形構造の構成要素を形成する場合に有利であると考えられる。2つのくし形構造のくしの背骨部分は、好ましくは導波路と平行に整列され、かつ好ましくはそれぞれの場合に隆起導波路の持ち上がった隆起部分から距離を置いて存在する。

【0021】

くしの背骨部分は、好ましくは、それぞれの場合に金属接触接続部によって形成される

50

か、または好ましくは少なくとも金属接触接続部も含む。接触接続部の下で、半導体材料は、好ましくは同じようにドーピングされる。例えばシリサイドから構成されるさらなる層が、接触接続部と半導体材料との間に配置され得る。

【 0 0 2 2 】

最小の導波路損失に関して、中間部分の領域のドーピングが非常に低い程度であり、その結果、弱くドーピングされたまたはドーピングされていない中間部分の真性電荷キャリア密度が、中間部分のドーピングよりも高い場合に有利であると考えられる。

【 0 0 2 3 】

変調領域の均一な変調を保証するために、注入変調器に共振器がなく、かつ導波路全体に共振がない場合に有利であると考えられる。

10

【 0 0 2 4 】

同様に、導波路長手方向における均一な変調に関して、pドープ半導体部分およびnドープ半導体部分が、- 導波路の長手方向において見たときに - 隣接する半導体部分間の距離の半分だけ互いにオフセットされて配置される場合に有利であると考えられる。換言すると、pドープ半導体部分の少なくとも1つが、- 導波路の長手方向において見たときに - 斜め反対側に存在する2つのnドープ半導体部分間の中心に配置され、およびnドープ半導体部分の少なくとも1つが、- 導波路の長手方向において見たときに - 斜め反対側に存在する2つのpドープ半導体部分間の中心に配置される場合に有利である。

【 0 0 2 5 】

20

注入変調器の1つの特に好ましい構造において、pドープ半導体部分が、pドープくし形構造またはその構成要素を形成し、かつnドープ半導体部分が、nドープくし形構造またはその構成要素を形成することが提供される。pドープくし形構造は、好ましくは、導波路の一方の側に配置され、かつnドープくし形構造は、導波路の他方の側に配置される。2つのくし形構造の歯は、好ましくはそれぞれの場合に、導波路の導波路中心の方向において整列される。pドープくし形構造の歯は、- 導波路の長手方向において見たときに - nドープくし形構造の歯との重なりがない。

【 0 0 2 6 】

導波路中心、好ましくは、導波路全体は、好ましくは歯がない。隆起導波路の場合、好ましくは隆起導波路の持ち上がった隆起部分全体に歯がない。

30

【 0 0 2 7 】

歯の構造に関して、歯の幅は、歯の長さより少なくとも4倍小さく、および隣接する歯間の距離より少なくとも4倍小さい場合に有利であると考えられる。

【 0 0 2 8 】

注入変調器の導波路は、好ましくは、MZI（マッハツェンダー干渉計）構成を形成する。そのような構造の場合、MZI構成のアーム部分の少なくとも1つが、電荷キャリアを注入するためのダイオード構造体を備える場合に有利であると考えられる。

【 0 0 2 9 】

代替的には、注入変調器の導波路は、リング変調器のリング内に配置され得る。

【 0 0 3 0 】

40

本発明は、上に記載したものなどの注入変調器と、光線源とを含む構成にさらに関する。

【 0 0 3 1 】

そのような構成の場合、pドープ半導体部分間の互いの間の距離およびnドープ半導体部分間の互いの間の距離が、それぞれの場合に、光線源の光線の波長の半分超もしくは未満であるか、または前記半分の整数倍超もしくは未満である場合に有利である。光線の波長の半分超または未満である半導体部分間の距離は、pおよびnドープ半導体部分の結果として、変調された導波路部分内に共振構成が起こることが不可能であること、および均一な変調が - 導波路長手方向において見たときに - 達成されることを保証する。

【 0 0 3 2 】

50

本発明は、光線を変調するための方法にさらに関し、ここで、注入ダイオード構造体を用いて、電荷キャリアが導波路の共振のない部分に注入され、ここで、導波路減衰は別として導波路内で案内される光線の光線強度が一定であり、または先に注入された電荷キャリアがそれから引き抜かれる。

【0033】

本発明によれば、そのような方法に関して、少なくとも2つのpドープ半導体部分と、少なくとも2つのnドープ半導体部分と、pドープおよびnドープ半導体部分間の少なくとも1つの弱くドーピングされたまたはドーピングされていない中間部分とを含むダイオード構造体を用いて、正孔の注入または引抜きが導波路の一方の側から実行され、かつ電子の注入または引抜きが導波路の他方の側から実行され、pドープ半導体部分は、導波路長手方向において見たときに、かつ導波路中心に対して導波路の一方の側に存在し、nドープ半導体部分は導波路の他方の側に存在し、かつ中間部分は導波路中心の領域に存在し、半導体部分は、それぞれの場合に導波路長手方向に対して横方向に、導波路の導波路中心の方向に延在し、

pドープ半導体部分は、導波路の長手方向において見たときにそれぞれの場合にnドープ半導体部分に対してオフセットされ、かつnドープ半導体部分に対して重ならない。

【0034】

本発明による方法の利点に関して、本発明による注入変調器に関連付けられる上の説明を参照すべきである。

【0035】

以下、本発明を例示的な実施形態に基づいてより詳しく説明する。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】図1は、注入変調器の1つの例示的な実施形態を示し、注入変調器中、注入ダイオード構造体のくし形構造が、変調されるべき導波路の外側に配置されている。

【図2】図2は、図1による注入変調器を断面で示す。

【図3】図3は、注入変調器の1つの例示的な実施形態を示し、注入変調器中、半導体部分が導波路の領域に延在する。

【図4】図4は、図3による注入変調器を断面で示す。

【図5】図5は、注入変調器の1つの例示的な実施形態を示し、注入変調器中、ダイオード構造体を用いて変調可能な導波路がマッハツェンダー干渉計構造を形成する。

【図6】図6は、注入変調器の別の例示的な実施形態を示し、注入変調器中、光導波路がマッハツェンダー干渉計構造を形成し、干渉計構造の両方のアーム部分がダイオード構造体を備えている。

【図7】図7は、リング共振器の1つの例示的な実施形態を示し、リング共振器中、導波路の共振のない部分がダイオード構造体を備えている。

【発明を実施するための形態】

【0037】

図面中、明確にするために、同一または同等の構成要素には同じ参照符号が常に使用される。

【0038】

図1は、光導波路20とダイオード構造体30とを含む注入変調器10を示す。ダイオード構造体30は、正孔注入用の第1くし形構造100、図1の上部くし形構造と、電子注入用の第2くし形構造200、図1の下部くし形構造とを含む。

【0039】

第1くし形構造100は、くしの背骨部分120から指状に突出する、導波路20の方向に延在するpドープ半導体部分110を備える。導波路20の方向におけるpドープ半導体部分110の延伸方向は、好ましくは、くしの背骨部分120の長手方向Lからまたは導波路20の長手方向Lに対して垂直に突出する。くしの背骨部分120の長手方向L

10

20

30

40

50

および導波路 20 の長手方向 L は、好ましくは平行である。導波路 20 の長手方向 L は、その中で案内される光線の伝播方向に一致する。

【0040】

離間した態様でおよび好ましくは互いに平行に配置された p ドープ半導体部分 110 は、従って、くし形構造 100 の歯を実例として形成し、その先端 111 は、ダイオード構造体 30 が励起されると直ちに正孔を注入するように機能する。

【0041】

第 2 くし形構造 200 は、くしの背骨部分 220 の長手方向 L に対して垂直におよび導波路 20 の長手方向 L に対して垂直にくしの背骨部分 220 から突出する、導波路 20 の方向に延在する n ドープ半導体部分 210 を備える。n ドープ半導体部分 210 は離間した態様でおよび好ましくは互いに平行に配置され、ダイオード構造体 30 が作動する間、それらの先端 211 が導波路 20 へまたは導波路 20 から正孔を注入または引き抜くように機能する。

10

【0042】

導波路 20 内で案内される光線の均一な変調を達成するために、ダイオード構造体 30 は、好ましくは、導波路 20 の共振のない部分に配置され、ここで、導波路の減衰は別として導波路 20 内で案内される光線 P の光線強度は少なくともほぼ一定である。

【0043】

導波路 20 内で案内される光線 P の均一な変調と同様に、図 1 による例示的な実施形態において、第 1 くし形構造 100 の p ドープ半導体部分 110 が第 2 くし形構造 200 の n ドープ半導体部分 210 に対してオフセットされることが提供される。好ましくは、このオフセットは、図 1 に示されるように、p ドープ半導体部分 110 の先端 111 が、それぞれ場合に、n ドープ半導体部分 210 の先端 211 間に存在し、および n ドープ半導体部分 210 の先端 211 が、それぞれの場合に、p ドープ半導体部分 110 の割り当てられた先端 111 間に存在するように選択される。

20

【0044】

第 1 くし形構造 100 のくしの背骨部分 120 は好ましくは、全体的にまたは少なくとも部分的に金属接触接続を提供された p ドープ半導体部分によって形成される。くしの背骨部分 220 は、対応して好ましくは、全体的にまたは少なくとも部分的に金属接触接続を提供された n ドープ半導体材料によって形成される。

30

【0045】

図 1 による注入変調器 10 は、例えば以下のように動作可能である。

【0046】

導波路 20 の領域に電荷キャリアを注入するために、順電圧が電圧または電流源 U を用いてダイオード構造体 30 に印加され、その結果、p ドープ半導体部分 110 の部分において、正孔が導波路 20 の方向におよび第 2 くし形構造 200 の方向に放出され、n ドープ半導体部分 210 の部分において、導波路 20 の方向におよび p ドープ半導体部分 110 の方向に電子が放出される。導波路 20 の領域に注入された正孔および電子は導波路 20 内の屈折率を修正し、その結果、位相変調、および電荷キャリアのために導波路 20 内で案内される光線の特定の減衰が起こる。

40

【0047】

変調の切換えをもたらすために、注入された電荷キャリアが導波路 20 の領域から可能な限り速く引き抜かれるように意図されている場合、逆電圧が好ましくはダイオード構造体 30 に印加され、その結果、導波路 20 の領域に位置する正孔および電子は、第 1 くし形構造 100 および第 2 くし形構造 200 によって引き抜かれる。

【0048】

図 2 は、図 1 による注入変調器 10 を図 1 による断面線 I I - I I に沿った断面図で示す。

【0049】

導波路 20 は、好ましくは導波層 21 中に具現化された隆起した導波路であることを確

50

認することができる。導波層 2 1 は、下部クラディング層 2 2 上に配置され、下部クラディング層 2 2 は垂直方向に導波するために導波層 2 1 よりも小さい屈折率を有する。

【 0 0 5 0 】

横方向導波のために、導波路 2 0 は、 - 導波路の長手方向において見られるように - 左右において 2 つのウェブ部分 2 4 および 2 5 によって隣接される隆起部分 2 3 を備える。ウェブ部分 2 4 および 2 5 のウェブ高さは、隆起部分 2 3 の高さよりも小さい。

【 0 0 5 1 】

図 2 は、p ドープ半導体部分 1 1 0 および n ドープ部分 2 1 0 の構成をさらに示す。選択された断面のために、p ドープ半導体部分 1 1 0 のみが、示されている面内に位置し、従ってこの部分のみが実線で示されている。n ドープ半導体部分 2 1 0 は、選択された目視方向に沿って p ドープ半導体部分 1 1 0 の後方に間隔をあけて配置され、従って単に点線で示されている。

10

【 0 0 5 2 】

換言すると、図 2 において選択された線の種類は、p ドープ半導体部分 1 1 0 および n ドープ半導体部分 2 1 0 が同じ面内に位置せず、図 1 に関連して既に記載したように、互いにオフセットされるという事実を図で視覚化するために使用される。

【 0 0 5 3 】

図 1 および 2 による例示的な実施形態において、導波路 2 0 内で案内される光線の最小限の減衰に関して、2 つのくし形構造 1 0 0 および 2 0 0 の構成は、p ドープ半導体部分 1 1 0 および n ドープ半導体部分 2 1 0 の先端 1 1 1 および 2 1 1 がそれぞれ導波路 2 0 の隆起部分 2 3 の外側に常に存在するように選択される。

20

【 0 0 5 4 】

可能な限り効果的に電子および正孔を注入することに関連して、p ドープ半導体部分 1 1 0 のドーピングおよび n ドープ半導体部分 2 1 0 のドーピングは、導波層 2 1 の表面 2 1 a を起点にして、下部クラディング層 2 2 まで下方に延在するような方法で選択される。このドーピング深さは、導波路 2 0 がウェブ部分 2 4 および 2 5 の全体ウェブ高さの領域において電荷キャリアで均一に満たされ得ることを保証する。

【 0 0 5 5 】

図 3 は、構造の点で図 1 および 2 による注入変調器 1 0 に対応する注入変調器の 1 つの例示的な実施形態を示す。図 1 および 2 による注入変調器と対照的に、ダイオード構造体 3 0 の 2 つのくし形構造 1 0 0 および 2 0 0 は、導波路 2 0 のより近くに配置されている。これに関して、図 3 において、2 つのくし形構造 1 0 0 および 2 0 0 の p ドープ半導体部分 1 1 0 および n ドープ半導体部分 2 1 0 の先端 1 1 1 および 2 1 1 は、それぞれ真直ぐに導波路 2 0 内へ突出することを確認することができる。2 つのくし形構造 1 0 0 および 2 0 0 のくしの背骨部分 1 2 0 および 2 2 0 のみが導波路 2 0 の外側に位置する。

30

【 0 0 5 6 】

p ドープ半導体部分 1 1 0 と n ドープ半導体部分 2 1 0 との間のより短い距離のために、ダイオード構造体 3 0 の作動中、導波路 2 0 内のより高い電界強度、先に注入された電荷キャリアのより速い注入および引抜きの結果としてのより速い変調速度、および導波路 2 0 内のより高い電荷キャリア密度を達成することが可能である。欠点は、導波路 2 0 内の光線 P のより高い減衰であり、これは導波路 2 0 に突出する p ドープ半導体部分 1 1 0 および n ドープ半導体部分 2 1 0 の部分によってもたらされる、すなわち、これは、2 つのくし形構造 1 0 0 および 2 0 0 の歯の端部が導波路減衰を増大するためである。

40

【 0 0 5 7 】

減衰を最小化するために、半導体部分 1 1 0 および 2 1 0 の幅 b は、半導体部分間の距離 A よりもかなり小さくなるように選択される。

【 0 0 5 8 】

その他の点に関して、図 1 および 2 に関連する説明は、図 3 による例示的な実施形態の事例に対応してあてはまる。

【 0 0 5 9 】

50

図4は、図3による注入変調器10を断面線IV-IVに沿って断面で示す。pドープ半導体部分110およびnドープ半導体部分210はそれぞれウェブ部分24および25を起点にして導波路20の隆起部分23内へ真直ぐに延在することを確認することができる。それにもかかわらず、弱くドーピングされるまたはドーピングされていない中間構造部分300が、半導体部分110および210間に残り、前記中間構造部分は半導体部分を互いに分離し、光線 - 光線の少なくとも主要部分 - は、前記中間構造部分内で案内される。

【0060】

図4において、nドープ半導体部分210は、導波路長手方向に沿ってpドープ半導体部分110に対してオフセットされていることを同じく確認することができる。これは、

10

【0061】

図5は、2つの干渉計アーム部分410および420を含むMZI変調器400の1つの例示的な実施形態を示す。干渉計アーム部分の一方、例えば干渉計アーム部分410は、上で図1～4において例として説明したようなものなどの注入変調器10を備える。

【0062】

注入変調器10が励起されると、干渉計アーム部分410内で案内される光線の位相を、干渉計アーム部分420内で案内される光線の位相に対して変化させることが可能であり、その結果、振幅変調がMZI変調器400の出力部で起こる。

【0063】

20

図6は、MZI変調器400の1つの例示的な実施形態を示し、MZI変調器400中、両方の干渉計アーム部分410および420は、それぞれ上で図1～4に関連して説明したようなものなどの注入変調器10を備える。

【0064】

図7は、リング変調器500の1つの例示的な実施形態を示し、リング変調器500中、導波路20はリング共振器を形成する。図1～4に関連して説明したようなものなどの注入変調器10が、導波路20の共振器のない部分に提供される。従って、上の説明が図7による変調器10に対応して当てはまる。

【0065】

本発明を、好ましい例示的な実施形態を用いてより具体的に説明し詳細に記載してきたが、本発明は開示される例に限定されず、当業者は、それらの例から、本発明の保護範囲から逸脱することなく他の変形形態を導き出すことができる。

30

【符号の説明】

【0066】

- 10 注入変調器
- 20 導波路
- 21 層
- 21a 表面
- 22 クラディング層
- 23 隆起部分
- 24 ウェブ部分
- 25 ウェブ部分
- 30 ダイオード構造体
- 100 上部くし形構造
- 110 Pドープ半導体部分
- 111 先端
- 120 くしの背骨部分
- 200 下部くし形構造
- 210 Nドープ半導体部分
- 211 先端

40

50

- 2 2 0 くしの背骨部分
- 3 0 0 中間部分
- 4 0 0 M Z I 変調器
- 4 1 0 干渉計アーム部分
- 4 2 0 干渉計アーム部分
- 5 0 0 リング変調器
- A 距離
- b 幅
- L 長手方向
- P 光線
- U 電圧 / 電流源

【図 1】

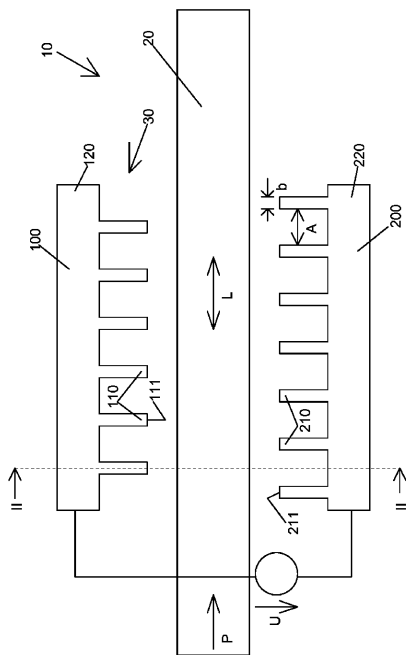


Fig. 1

【図 2】

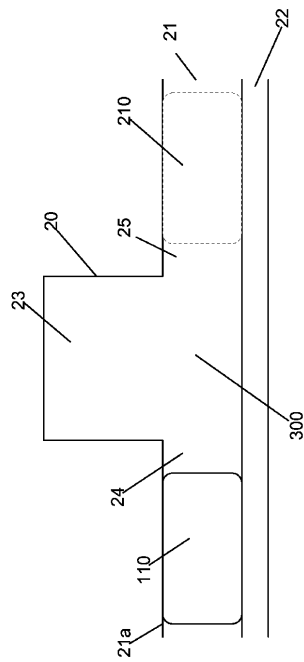


Fig. 2

【 図 3 】

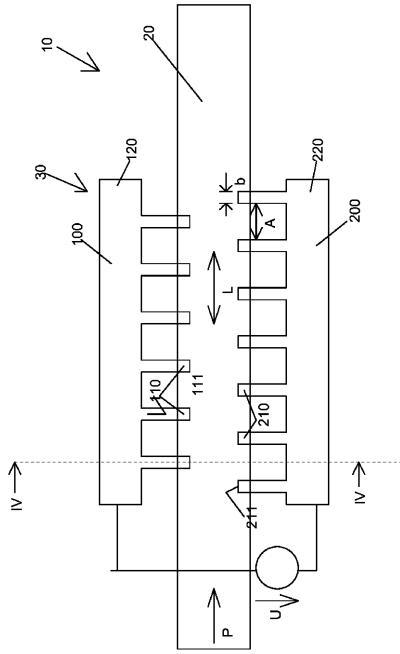


Fig. 3

【 図 4 】

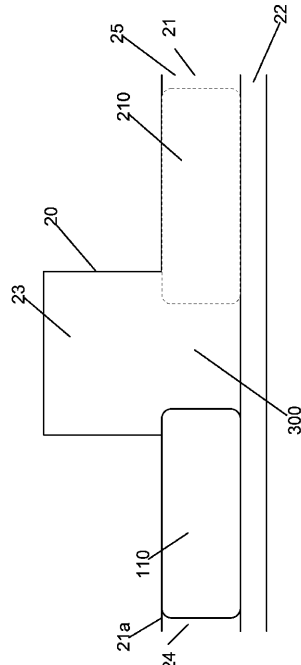


Fig. 4

【 図 5 】

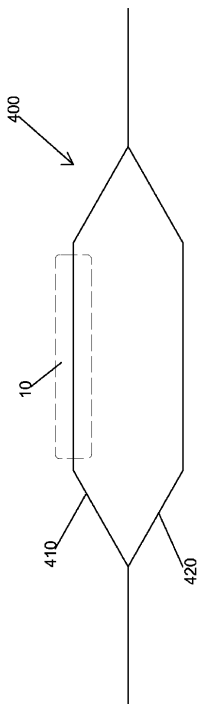


Fig. 5

【 図 6 】

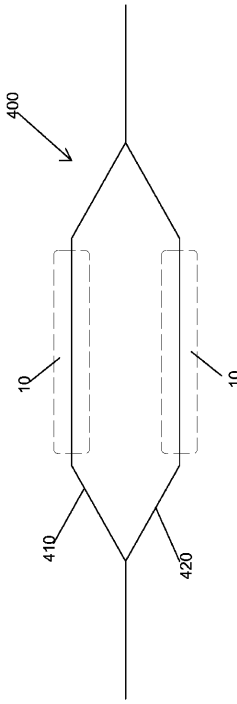


Fig. 6

【 7 】

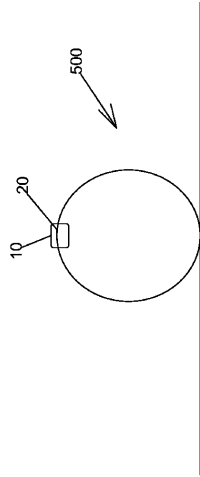


Fig. 7

フロントページの続き

- (72)発明者 マイスター, ステファン
ドイツ連邦共和国 1 2 5 8 7 ベルリン, ミュゲルゼーダム 2 6 0
- (72)発明者 アル - サーディ, アウス
ドイツ連邦共和国 1 0 5 5 9 ベルリン, ヴィルスナッカーシュトラッセ 2 8
- (72)発明者 クビジャイ, セバスチャン
ドイツ連邦共和国 1 2 2 4 7 ベルリン, シーメンスシュトラッセ 7 8
- (72)発明者 タイス, クリストフ
ドイツ連邦共和国 1 4 1 6 9 ベルリン, プリチャートシュトラッセ 3
- (72)発明者 リー, ハンジョー
ドイツ連邦共和国 1 0 4 3 9 ベルリン, ヴィヒャートシュトラッセ 2
- (72)発明者 ツィマーマン, ラーズ
ドイツ連邦共和国 1 0 6 2 3 ベルリン, ウーラントシュトラッセ 7
- (72)発明者 シュトラレク, ダヴィト
ドイツ連邦共和国 1 5 2 3 2 フランクフルト (オーデル), クラーラ - ツェトキン - リンク
6 0

審査官 廣崎 拓登

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0099813 (US, A1)
特開2014-109594 (JP, A)
米国特許出願公開第2014/0241656 (US, A1)
米国特許出願公開第2014/0127842 (US, A1)
特開2015-191195 (JP, A)
Zhi-Yong LI et al., Silicon waveguide modulator based on carrier depletion in periodically interleaved PN junctions, OPTICS EXPRESS, 2009年 8月31日, Vol.17, No.18, pp.15947-15958

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 B 6 / 1 2 - 6 / 1 4
G 0 2 F 1 / 0 0 - 1 / 1 2 5
1 / 2 1 - 7 / 0 0
I E E E X p l o r e