

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7632166号
(P7632166)

(45)発行日 令和7年2月19日(2025.2.19)

(24)登録日 令和7年2月10日(2025.2.10)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 F 1/035(2006.01)

G 0 2 F 1/035

請求項の数 7 (全14頁)

(21)出願番号	特願2021-131273(P2021-131273)	(73)特許権者	309015134
(22)出願日	令和3年8月11日(2021.8.11)		富士通オプティカルコンポーネンツ株式
(65)公開番号	特開2023-25865(P2023-25865A)		会社
(43)公開日	令和5年2月24日(2023.2.24)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1
審査請求日	令和6年4月25日(2024.4.25)		番1号
		(74)代理人	110002147
			弁理士法人酒井国際特許事務所
		(72)発明者	杉山 昌樹
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1
			番1号 富士通オプティカルコンポーネ
			ンツ株式会社内
		審査官	林 祥恵

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光デバイス及び光通信装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】
薄膜LN（Lithium Niobate）結晶のリブ導波路と、
前記リブ導波路上に積層されたバッファ層と、
前記リブ導波路と隣り合い、かつ、前記リブ導波路に電圧を印加する電気信号を入力する
信号電極と、
前記リブ導波路と隣り合い、かつ、前記リブ導波路から前記電気信号を出力する接地電極
と、を有し、
前記バッファ層は、
前記リブ導波路のリブ上に積層された厚膜部位と、
前記リブの両脇にある、前記リブ導波路のスラブ上に積層され、かつ、前記厚膜部位の
厚みに比較して薄くした薄膜部位と、を有し、
前記厚膜部位は、
前記リブを被覆する第1の厚膜部位と、
前記リブの側壁面を被覆すると共に、前記リブ側の前記スラブの一部を被覆する第2の
厚膜部位と、を有し、
前記第2の厚膜部位は、
前記リブの側壁面の内、前記リブと隣り合う前記信号電極側の側壁面と離間する第1の
段差部と、前記リブの側壁面の内、前記リブと隣り合う前記接地電極側の側壁面と離間す
る第2の段差部とを有することを特徴とする光デバイス。

【請求項 2】

前記厚膜部位は、

当該厚膜部位の幅を前記リブの幅に比較して広くする構造にしたことを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 3】

前記厚膜部位は、

前記リブを被覆する第 1 の厚膜部位と、

前記リブの側壁面を被覆すると共に、前記リブ側の前記スラブの一部を被覆する第 2 の厚膜部位と、を有し、前記第 2 の厚膜部位の厚みを前記薄膜部位の厚みに比較して厚くする構造にしたことを特徴とする請求項 2 に記載の光デバイス。

10

【請求項 4】

前記信号電極及び前記接地電極の一端が前記第 2 の厚膜部位から離間するように前記薄膜部位の幅を広くしたことを特徴とする請求項 3 に記載の光デバイス。

【請求項 5】

前記信号電極及び前記接地電極の一部は、

前記薄膜部位以外の前記バッファ層の内、前記第 1 の厚膜部位及び前記第 2 の厚膜部位と異なる第 3 の厚膜部位に積層されることを特徴とする請求項 4 に記載の光デバイス。

【請求項 6】

前記信号電極及び前記接地電極が前記薄膜部位に接触している積層箇所の幅は、

前記薄膜部位の厚みに比較して広くすることを特徴とする請求項 5 に記載の光デバイス。

20

【請求項 7】

電気信号に対する信号処理を実行するプロセッサと、

光を発生させる光源と、

前記プロセッサから出力される電気信号を用いて、前記光源から発生する光を変調する光デバイスと、を有し、

前記光デバイスは、

薄膜 L N (Lithium Niobate) 結晶のリブ導波路と、

前記リブ導波路上に積層されたバッファ層と、

前記リブ導波路と隣り合い、かつ、前記リブ導波路に電圧を印加する電気信号を入力する信号電極と、

30

前記リブ導波路と隣り合い、かつ、前記リブ導波路から前記電気信号を出力する接地電極と、を有し、

前記バッファ層は、

前記リブ導波路のリブ上に積層された厚膜部位と、

前記リブの両脇にある、前記リブ導波路のスラブ上に積層され、かつ、前記厚膜部位の厚みに比較して薄くした薄膜部位と、を有し、

前記厚膜部位は、

前記リブを被覆する第 1 の厚膜部位と、

前記リブの側壁面を被覆すると共に、前記リブ側の前記スラブの一部を被覆する第 2 の厚膜部位と、を有し、

40

前記第 2 の厚膜部位は、

前記リブの側壁面の内、前記リブと隣り合う前記信号電極側の側壁面と離間する第 1 の段差部と、前記リブの側壁面の内、前記リブと隣り合う前記接地電極側の側壁面と離間する第 2 の段差部と

を有することを特徴とする光通信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光デバイス及び光通信装置に関する。

【背景技術】

50

【0002】

従来の光変調器は、例えば、基板上に設けられた光導波路及び、その近傍に設けられた変調部で構成される。変調部は、信号電極と、接地電極とを有し、信号電極に電圧を与えると、光導波路内に電界が発生し、光導波路内の電界によって光導波路の屈折率が変化し、光の位相が変化する。光導波路はマッハツェンダ干渉計を構成し、光導波路間の光の位相の差により光出力が変化する。

【0003】

光変調器では、例えば、4チャンネルのマッハツェンダ変調器が集積されている。各マッハツェンダ干渉計には、RF変調部とDC変調部とがある。RF変調部の電極には、例えば、数10GHzの帯域を有する高周波信号を入力し、高速変調を行う。また、DC変調部の電極には、バイアス電圧を印加し、電気信号のON/OFFが光信号のON/OFFに対応するようにバイアス電圧を調整する。

【0004】

光変調器の光導波路は、例えば、マッハツェンダ干渉計を構成し、平行に配置された複数の光導波路間の光の位相差により、例えば、XY偏波多重されるIQ信号を出力する。そして、4チャンネルの出力を2チャンネルずつ合波して2つのIQ信号とし、その一つを偏波回転して偏波ビームコンバイナで偏波多重化して出力することになる。

【0005】

一方、光導波路は、例えば、チタン等の金属を基板表面から拡散することにより、信号電極と重ならない位置に形成される拡散光導波路がある。拡散光導波路を被覆したバッファ層上に電極を配置する。尚、バッファ層は、DCドリフト（印加されたバイアス電圧に起因して起きる出射光の経時変化）を抑制するために抵抗値が低くなるように組成及び膜厚を決める。しかしながら、この拡散光導波路は光の閉じ込めが小さいため、電界の印加効率が悪く、そのため、駆動電圧が高くなる。そこで、LN（Lithium Niobate：ニオブ酸リチウム： LiNbO_3 ）結晶の薄膜を用いた光導波路が信号電極と重ならない位置に形成される薄膜光導波路がある。薄膜光導波路は、金属を拡散させる拡散光導波路よりも光の閉じ込めを強くすることができ、電界の印加効率を改善し、駆動電圧を低減できる。

【0006】

光変調器は、RF変調部と、DC変調部とを有する。図7は、光変調器のDC変調部200の一例を示す略断面図である。図7に示すDC変調部200は、Si（シリコン）等の支持基板201と、支持基板201上に積層された中間層202とを有する。更に、DC変調部200は、中間層202上に積層された薄膜LN基板203と、薄膜LN基板203上に積層された SiO_2 のバッファ層204とを有する。

【0007】

薄膜LN基板203は、上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路207である。薄膜光導波路207は、リブ207Aと、リブ207Aの両脇に形成されたスラブ207Bとを有するリブ型導波路である。そして、リブ207A及びスラブ207Bは、バッファ層204によって被覆され、バッファ層204の表面にコプレーナ（CPW：Coplanar Waveguide）構造の信号電極205及び一対の接地電極206が配置される。つまり、バッファ層204上には、信号電極205と、信号電極205を挟む一対の接地電極206とが配置されている。尚、バッファ層204は、薄膜光導波路207を伝搬する光が信号電極205及び接地電極206で吸収されるのを防止できる。

【0008】

信号電極205と接地電極206との間に位置する薄膜LN基板203には、凸形状の薄膜光導波路207が形成されている。更に、信号電極205と接地電極206との間に位置するバッファ層204にも、凸形状の薄膜光導波路207全体を被覆する段差部204Aがある。

【0009】

このような薄膜光導波路207によれば、信号電極205にバイアス電圧を印加して電界を発生させ、薄膜光導波路207の屈折率を変化させることにより、薄膜光導波路20

10

20

30

40

50

7を伝搬する光を変調することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【文献】特開平5-158001号公報

【文献】米国特許出願公開第2002/0106141号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

光変調器の薄膜光導波路207では、バッファ層204がクラッドとなるため、薄膜光導波路207を伝搬する光のモードフィールドがバッファ層204内にまで入り込むことになる。従って、薄膜光導波路207の光が信号電極205や接地電極206で吸収されるのを防ぐために、バッファ層204の厚みを厚くする必要がある。

10

【0012】

しかしながら、バッファ層204の厚みを厚くした場合でも、温度上昇時には、バッファ層204の抵抗値がLN結晶に比較して高くなる。従って、信号電極205にバイアス電圧を印加した場合でも、バッファ層204にかかるバイアス電圧が経時変化に応じて徐々に高くなる一方で、薄膜光導波路207のリブ207Aにかかるバイアス電圧が相対的に低下するようなDCドリフトが発生する。その結果、電界が徐々に小さくなるため、光変調器を正常に制御することができなくなる。従って、DCドリフトの発生を抑制することが求められている。

20

【0013】

開示の技術は、かかる点に鑑みてなされたものであって、DCドリフトの発生を抑制できる光デバイス等を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本願が開示する光デバイスは、1つの態様において、薄膜LN（Lithium Niobate）結晶のリブ導波路と、前記リブ導波路上に積層されたバッファ層と、前記リブ導波路に電圧を印加する電極と、を有する。前記バッファ層は、前記リブ導波路のリブ上に積層された厚膜部位と、前記リブの両脇にある、前記リブ導波路のスラブ上に積層され、かつ、前記厚膜部位の厚みに比較して薄くした薄膜部位と、を有する。

30

【発明の効果】

【0015】

本願が開示する光デバイス等の1つの態様によれば、DCドリフトの発生を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は、実施例1の光通信装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】図2は、実施例1の光変調器の構成の一例を示す平面模式図である。

【図3】図3は、実施例1の光変調器の第1のDC変調部の一例を示す略断面図である。

【図4】図4は、実施例2の光変調器の第1のDC変調部の一例を示す略断面図である。

40

【図5】図5は、実施例3の光変調器の第1のDC変調部の一例を示す略断面図である。

【図6】図6は、実施例4の光変調器の第1のDC変調部の一例を示す略断面図である。

【図7】図7は、光変調器のDC変調部の一例を示す略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本願が開示する光デバイス等の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、この実施の形態により本発明が限定されるものではない。

【実施例1】

【0018】

図1は、実施例1の光通信装置1の構成の一例を示すブロック図である。図1に示す光

50

通信装置 1 は、出力側の光ファイバ 2 A (2) 及び入力側の光ファイバ 2 B (2) と接続する。光通信装置 1 は、DSP (Digital Signal Processor) 3 と、光源 4 と、光変調器 5 と、光受信器 6 とを有する。DSP 3 は、デジタル信号処理を実行する電気部品である。DSP 3 は、例えば、送信データの符号化等の処理を実行し、送信データを含む電気信号を生成し、生成した電気信号を光変調器 5 に出力する。また、DSP 3 は、受信データを含む電気信号を光受信器 6 から取得し、取得した電気信号の復号等の処理を実行して受信データを得る。

【0019】

光源 4 は、例えば、レーザダイオード等を備え、所定の波長の光を発生させて光変調器 5 及び光受信器 6 へ供給する。光変調器 5 は、DSP 3 から出力される電気信号によって、光源 4 から供給される光を変調し、得られた光送信信号を光ファイバ 2 A に出力する光デバイスである。光変調器 5 は、例えば、LN (Lithium Niobate: ニオブ酸リチウム: LiNbO_3) 光導波路と変調部とを備える LN 光変調器等の光デバイスである。LN 光導波路は、LN 結晶の基板で形成される。光変調器 5 は、光源 4 から供給される光が LN 光導波路を伝搬する際に、この光を変調部へ入力される電気信号によって変調することで、光送信信号を生成する。

【0020】

光受信器 6 は、光ファイバ 2 B から光信号を受信し、光源 4 から供給される光を用いて受信光信号を復調する。そして、光受信器 6 は、復調した受信光信号を電気信号に変換し、変換後の電気信号を DSP 3 に出力する。

【0021】

図 2 は、実施例 1 の光変調器 5 の構成の一例を示す平面模式図である。図 2 に示す光変調器 5 は、入力側に光源 4 からの光ファイバ 4 A を接続し、出力側に送信信号送出用の光ファイバ 2 A を接続する。光変調器 5 は、第 1 の光入力部 11 と、RF (Radio Frequency) 変調部 12 と、DC (Direct Current) 変調部 13 と、第 1 の光出力部 14 とを有する。第 1 の光入力部 11 は、第 1 の光導波路 11 A と、第 1 の導波路接合部 11 B とを有する。第 1 の光導波路 11 A は、光ファイバ 4 A と接続する 1 本の光導波路と、1 本の光導波路から分岐する 2 本の光導波路と、各 2 本の光導波路を分岐する 4 本の光導波路と、各 4 本の光導波路を分岐する 8 本の光導波路とを有する。第 1 の導波路接合部 11 B は、第 1 の光導波路 11 A 内の 8 本の光導波路と LN 光導波路 21 内の 8 本の LN 光導波路 21 との間を接合する。

【0022】

RF 変調部 12 は、LN 光導波路 21 と、電極部 22 と、RF 終端器 23 とを有する。RF 変調部 12 は、第 1 の光導波路 11 A から供給される光が LN 光導波路 21 を伝搬する際に、この光を電極部 22 の信号電極 22 A から印加される電界によって変調する。LN 光導波路 21 は、例えば、薄膜 LN 基板 53 を用いて形成されるリブ型の光導波路であり、入力側から分岐を繰り返し、複数の平行な 8 本の LN 光導波路を有する。LN 光導波路 21 を伝搬して変調された光は、DC 変調部 13 内の第 1 の DC 変調部 32 へ出力される。薄膜 LN 基板 53 は、結晶の X 軸の方向に DC 電圧を印加した場合に屈折率が高くなる X カット基板である。

【0023】

電極部 22 内の信号電極 22 A は、LN 光導波路 21 に重ならない位置に設けられ、DSP 3 から出力される電気信号に応じて LN 光導波路 21 へ電界を印加する。電極部 22 内の信号電極 22 A の終端は、RF 終端器 23 に接続されている。RF 終端器 23 は、信号電極 22 A の終端に接続され、信号電極 22 A によって伝送される信号の不要な反射を防止する。

【0024】

DC 変調部 13 は、RF 変調部 12 の LN 光導波路 21 と接合する LN 光導波路 31 と、第 1 の DC 変調部 32 と、第 2 の DC 変調部 33 とを有する。第 1 の DC 変調部 32 は、4 個の子側 MZ (Mach-Zehnder) である。第 2 の DC 変調部 33 は、2 個の親側 MZ

10

20

30

40

50

である。第1のDC変調部32は、LN光導波路31と、電極部22とを有する。

【0025】

LN光導波路31は、8本のLN光導波路と、8本のLN光導波路の内、2本のLN光導波路と合流する4本のLN光導波路とを有する。8本のLN光導波路31は、2本のLN光導波路毎に第1のDC変調部32を配置している。第1のDC変調部32は、LN光導波路31上の信号電極22Aにバイアス電圧を印加することで、電気信号のON/OFFが光信号のON/OFFに対応するようにバイアス電圧を調整して、同相軸成分のI信号若しくは直交軸成分のQ信号を出力する。LN光導波路31内の4本のLN光導波路は、2本のLN光導波路毎に第2のDC変調部33を配置している。第2のDC変調部33は、LN光導波路31上の信号電極22Aにバイアス電圧を印加することで、電気信号のON/OFFが光信号のON/OFFに対応するようにバイアス電圧を調整してI信号若しくはQ信号を出力する。

10

【0026】

第1の光出力部14は、第2の導波路接合部41と、第2の光導波路42と、PR (Polarization Rotator) 43と、PBC (Polarization Beam Combiner: 偏波ビームコンバイナ) 44とを有する。第2の導波路接合部41は、DC変調部13内のLN光導波路31と第2の光導波路42との間を接合する。第2の光導波路42は、第2の導波路接合部41に接続する4本の光導波路と、4本の光導波路の内、2本の光導波路と合流する2本の光導波路とを有する。

【0027】

PR43は、一方の第2のDC変調部33から入力したI信号若しくはQ信号を90度回転して90度回転後の垂直偏波の光信号を得る。そして、PR43は、垂直偏波の光信号をPBC44に inputs。PBC44は、PR43からの垂直偏波の光信号と、他方の第2のDC変調部33から入力した水平偏波の光信号とを合波して偏波多重信号を出力する。

20

【0028】

次に、実施例1の光変調器5の構成について、具体的に説明する。図3は、実施例1の光変調器5の第1のDC変調部32の一例を示す略断面図である。尚、第2のDC変調部33も、第1のDC変調部32と同一の構成であるため、同一の構成には同一符号を付すことで、その重複する構成及び動作の説明については省略する。図3に示す第1のDC変調部32は、支持基板51と、支持基板51上に積層された中間層52とを有する。更に、第1のDC変調部32は、中間層52に積層された、薄膜LN結晶の薄膜LN基板53と、薄膜LN基板53上に積層されたバッファ層54と、電極部22とを有する。電極部22は、信号電極22A及び一対の接地電極22Bを有する。

30

【0029】

支持基板51は、例えば、 SiO_2 (二酸化ケイ素)、 TiO_2 (二酸化チタン)、Si又はLN等の基板である。中間層52は、例えば、 SiO_2 又は TiO_2 等の屈折率がLNに比較して低い透明材からなる層である。同様に、バッファ層54は、例えば、 SiO_2 又は TiO_2 等の屈折率がLNに比較して低い透明材からなる層である。

【0030】

薄膜LN基板53は、上方へ突起する突条の薄膜光導波路60である。薄膜光導波路60は、第1のDC変調部32のLN光導波路21である。薄膜光導波路60は、リブ60Aと、リブ60Aの両脇にあるスラブ60Bとを有するリブ型の光導波路である。リブ60Aは、リブ60Aの上面60A1と、リブ60Aの側壁面60A2とを有する。そして、薄膜光導波路60がバッファ層54によって被覆されている。バッファ層54は、薄膜光導波路60を伝搬する光が電極部22で吸収されるのを防ぐために設けられる。

40

【0031】

バッファ層54は、薄膜光導波路60のリブ60Aの上面60A1を被覆する厚膜部位54Aと、薄膜光導波路60のスラブ60Bを被覆する薄膜部位54Bとを有する。薄膜部位54Bの厚みX2は、厚膜部位54Aの厚みX1に比較して薄くした構造である。信

50

号電極 2 2 A 及び一対の接地電極 2 2 B は、薄膜部位 5 4 B 上に配置されることになる。

【 0 0 3 2 】

信号電極 2 2 A と接地電極 2 2 B との間に位置する薄膜光導波路 6 0 は、薄膜光導波路 6 0 内のリブ 6 0 A である。更に、信号電極 2 2 A と接地電極 2 2 B との間に位置する薄膜光導波路 6 0 内のリブ 6 0 A を被覆するバッファ層 5 4 は、厚膜部位 5 4 A である。信号電極 2 2 A 及び接地電極 2 2 B が位置する薄膜光導波路 6 0 は、薄膜光導波路 6 0 内のスラブ 6 0 B である。更に、信号電極 2 2 A 及び接地電極 2 2 B が位置する薄膜光導波路 6 0 内のスラブ 6 0 B を被覆するバッファ層 5 4 は、薄膜部位 5 4 B である。リブ 6 0 A の側壁面 6 0 A 2 を被覆する段差部 5 4 D は、接地電極 2 2 B 又は信号電極 2 2 A との間を離間している。

10

【 0 0 3 3 】

中間層 5 2 とバッファ層 5 4 との間には、厚みが 0 . 5 ~ 3 μm の薄膜 L N 基板 5 3 の薄膜光導波路 6 0 が挟まれている。薄膜光導波路 6 0 となるリブ 6 0 A の幅は、例えば、1 ~ 8 μm 程度である。

【 0 0 3 4 】

信号電極 2 2 A は、例えば、金や銅等の金属材料からなり、幅が 2 ~ 1 0 μm 、厚みが 1 ~ 2 0 μm の電極である。接地電極 2 2 B は、例えば、金や銅等の金属材料からなり、厚みが 1 μm 以上の電極である。D S P 3 から出力される電気信号に応じたバイアス電圧が信号電極 2 2 A に印加することで、信号電極 2 2 A から接地電極 2 2 B へ向かう方向の電界が発生し、この電界が薄膜光導波路 6 0 に印加される。その結果、薄膜光導波路 6 0 への電界印加に応じて薄膜光導波路 6 0 の屈折率が変化し、薄膜光導波路 6 0 を伝搬する光を変調することが可能となる。

20

【 0 0 3 5 】

第 1 の D C 変調部 3 2 では、薄膜光導波路 6 0 のリブ 6 0 A を被覆するバッファ層 5 4 を厚膜部位 5 4 A、電極部 2 2 を積層する箇所のバッファ層 5 4 を薄膜部位 5 4 B にした。その結果、厚膜部位 5 4 A では、バッファ層 5 4 の厚みが厚くなるため、リブ 6 0 A を導波する光が電極部 2 2 に吸収される光の散乱損失を抑制できる。更に、薄膜部位 5 0 B では、バッファ層 5 4 の厚みが薄くなるために経時変化による D C ドリフトの発生を抑制できる。尚、電極部 2 2 と L N 結晶の薄膜光導波路 6 0 との間のバッファ層 5 4 の厚みを薄くすることで、温度上昇時におけるバッファ層 5 4 の抵抗値の影響が小さくなる。その結果、温度上昇時の D C ドリフトの発生を抑制できる。

30

【 0 0 3 6 】

そこで、出願人は、下記条件に基づき、第 1 の D C 変調部 3 2 の D C ドリフトの 5 0 % 到達時間を検証した。第 1 の D C 変調部 3 2 の条件は、バッファ層 5 4 の厚膜部位 5 4 A の厚みを 1 . 2 μm 、薄膜部位 5 4 B の厚みを 0 . 2 μm 、環境温度を 1 2 0 $^{\circ}\text{C}$ にした。また、従来の D C 変調部 2 0 0 の条件は、バッファ層 2 0 4 (2 0 4 A , 2 0 4 B) の厚み 1 . 2 μm 、環境温度を 1 2 0 $^{\circ}\text{C}$ にした。その結果、第 1 の D C 変調部 3 2 は、従来の D C 変調部 2 0 0 に比較して、D C ドリフトの 5 0 % 到達時間を 4 倍に長くできる。

【 0 0 3 7 】

実施例 1 の第 1 の D C 変調部 3 2 では、薄膜光導波路 6 0 のリブ 6 0 A を被覆するバッファ層 5 4 を厚膜部位 5 4 A、電極部 2 2 を積層する積層箇所のバッファ層 5 4 を薄膜部位 5 4 B にした。その結果、厚膜部位 5 4 A では、バッファ層 5 4 の厚みが厚くなるため、リブ 6 0 A 内を導波する光が電極部 2 2 に吸収されるような光の散乱損失を抑制できる。薄膜部位 5 4 B では、バッファ層 5 4 の抵抗値の影響が小さくなるため、経時変化による温度上昇時の D C ドリフトの発生を抑制できる。更に、D C ドリフトの発生を抑制することで第 1 の D C 変調部 3 2 の寿命を長くできる。

40

【 0 0 3 8 】

第 2 の D C 変調部 3 3 では、薄膜光導波路 6 0 のリブ 6 0 A を被覆するバッファ層 5 4 を厚膜部位 5 4 A、電極部 2 2 を積層する積層箇所のバッファ層 5 4 を薄膜部位 5 4 B にした。その結果、厚膜部位 5 4 A では、バッファ層 5 4 の厚みが厚くなるため、リブ 6 0

50

Aを通過する光が電極部22に吸収される光の散乱損失を抑制できる。更に、薄膜部位54Bでは、バッファ層54の抵抗値の影響が小さくなるため、経時変化による温度上昇時のDCドリフトの発生を抑制できる。更に、DCドリフトの発生を抑制することで第2のDC変調部33の寿命を長くできる。

【0039】

実施例1の第1のDC変調部32では、リブ60Aの上面60A1を被覆するバッファ層54が厚膜部位54Aであるものの、電極部22とリブ60Aの側壁面60A2との間のバッファ層54が薄くなる。その結果、電極部22とリブ60Aの側壁面60A2との間のバッファ層54が薄くなることで、リブ60A内を導波する光が電極部22で吸収されて光の散乱損失が増大する事態も想定できる。そこで、電極部22とリブ60Aの側壁面60A2との間のバッファ層54を厚くする方が望ましく、その実施の形態につき、実施例2として以下に説明する。

【実施例2】

【0040】

図4は、実施例2の光変調器5の第1のDC変調部32Aの一例を示す略断面図である。尚、実施例1の光変調器5と同一の構成には同一符号を付すことで、その重複する構成及び動作の説明については省略する。図4に示す第1のDC変調部32Aと図3に示す第1のDC変調部32とが異なるところは、厚膜部位54Aの幅L2をリブ60Aの幅L1に比較して広くした点にある。

【0041】

バッファ層54の厚膜部位54Aは、薄膜光導波路60のリブ60Aの上面60A1を被覆する第1の厚膜部位54A1と、リブ60Aの側壁面60A2を被覆すると共に、リブ60A側のスラブ60Bの一部を被覆する第2の厚膜部位54A2とを有する。第2の厚膜部位54A2は、第2の厚膜部位54A2の厚みを薄膜部位54Bの厚みに比較して厚くする構造にした。更に、厚膜部位54Aの幅L2は、リブ60Aの幅L1に比較して広くした。尚、説明の便宜上、第2の厚膜部位54A2の厚みは第1の厚膜部位54A1の厚みと同一した場合、厚膜部位54Aの作成工程を簡易化できる。

【0042】

実施例2の第1のDC変調部32Aでは、厚膜部位54Aの幅L2をリブ60Aの幅L1に比較して広くする構造にし、厚膜部位54Aの第2の厚膜部位54A2でリブ60Aの側壁面60A2を被覆した。その結果、第2の厚膜部位54A2でリブ60Aの側壁面60A2から電極部22を離すことで、リブ60A内を導波する光の散乱損失を抑制できる。更に、薄膜部位54Bでは、バッファ層54の厚みが薄くなるために経時変化によるDCドリフトの発生を抑制できる。

【0043】

第2のDC変調部33Aでは、厚膜部位54Aの幅L2をリブ60Aの幅L1に比較して広くする構造にし、厚膜部位54Aの第2の厚膜部位54A2でリブ60Aの側壁面60A2を被覆した。その結果、第2の厚膜部位54A2でリブ60Aの側壁面60A2から電極部22を離すことで、リブ60A内を導波する光の散乱損失を抑制できる。更に、薄膜部位54Bでは、バッファ層54の厚みが薄くなるために経時変化によるDCドリフトの発生を抑制できる。

【0044】

また、実施例2の第1のDC変調部32Aでは、薄膜部位54Bの幅と、薄膜部位54B上の電極部22の積層領域の幅とが同一である。従って、例えば、製造工程で薄膜領域54B上に電極部22を積層する際のマスク合わせのズレが発生した場合、電極部22の一部が第2の厚膜部位54A2に積層されてしまうような場合がある。そこで、このような事態に対処する光変調器5の実施の形態につき、実施例3として説明する。

【実施例3】

【0045】

図5は、実施例3の光変調器5の第1のDC変調部32Bの一例を示す略断面図である

。尚、実施例 2 の光変調器 5 と同一の構成には同一符号を付すことで、その重複する構成及び動作の説明については省略する。図 5 に示す第 1 の DC 変調部 3 2 B と図 4 に示す第 1 の DC 変調部 3 2 A とが異なるところは、電極部 2 2 の一端、すなわち先端部 X 5 が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くした点にある。つまり、電極部 2 2 の先端部 X 5 と第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 の先端部 X 6 との間の間隙 X 8 を設けることで、薄膜部位 5 4 B の先端部は、電極部 2 2 の先端部 X 5 よりも、リブ 6 0 A 側に位置することになる。

【0046】

電極部 2 2 の先端部 X 5 が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くした。その結果、薄膜領域 5 4 B 上に電極部 2 2 を積層する際のマスク合わせズレが発生した場合でも、電極部 2 2 の一部が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 に積層されるような事態を回避できる。

10

【0047】

接地電極 2 2 B の先端部 X 5 が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くした。その結果、薄膜領域 5 4 B 上に接地電極 2 2 B を積層する際のマスク合わせズレが発生した場合でも、接地電極 2 2 B の一部が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 に積層されるような事態を回避できる。

【0048】

信号電極 2 2 A の先端部 X 5 が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くした。その結果、薄膜領域 5 4 B 上に信号電極 2 2 A を積層する際のマスク合わせズレが発生した場合でも、信号電極 2 2 A の一部が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 に積層されるような事態を回避できる。

20

【0049】

実施例 3 の第 1 の DC 変調部 3 2 B は、電極部 2 2 の一端が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くした。その結果、薄膜領域 5 4 B 上に電極部 2 2 を積層する際のマスク合わせズレが発生した場合でも、電極部 2 2 の一部が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 に積層されるような事態を回避できる。更に、薄膜部位 5 4 B では、バッファ層 5 4 の厚みが薄くなるために経時変化による DC ドリフトの発生を抑制できる。

【0050】

第 2 の DC 変調部 3 3 B は、電極部 2 2 の一端が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くした。その結果、薄膜領域 5 4 B 上に電極部 2 2 を積層する際のマスク合わせズレが発生した場合でも、電極部 2 2 の一部が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 に積層されるような事態を回避できる。更に、薄膜部位 5 4 B では、バッファ層 5 4 の厚みが薄くなるために経時変化による DC ドリフトの発生を抑制できる。

30

【0051】

実施例 3 の第 1 の DC 変調部 3 2 B では、電極部 2 2 の一端が第 2 の厚膜部位 5 4 A 2 から離間するように薄膜部位 5 4 B の幅を広くする場合を例示した。電極部 2 2 はバッファ層 5 4 との密着性を確保するためある程度の幅が必要である。しかしながら、電極部 2 2 の幅に応じてバッファ層 5 4 を薄くする薄膜部位 5 4 B の幅を広くしすぎると、プラズマエッチング等で多くのエッチングゴミ等が生じ、バッファ層 5 4 のエッチング作業が困難となる。そこで、このような事態に対処できる実施の形態につき、実施例 4 として以下に説明する。

40

【実施例 4】

【0052】

図 6 は、実施例 4 の光変調器 5 の第 1 の DC 変調部 3 2 の一例を示す略断面図である。尚、実施例 3 の光変調器 5 と同一の構成には同一符号を付すことで、その重複する構成及び動作の説明については省略する。図 6 に示す第 1 の DC 変調部 3 2 C と図 5 に示す第 1 の DC 変調部 3 2 B とが異なるところは、電極部 2 2 の一部 2 2 C が、薄膜部位 5 4 B 以外のバッファ層 5 4 の内、リブ 6 0 A と反対側の第 3 の厚膜部位 5 4 C に積層される点にある。

50

【0053】

また、電極部22が薄膜部位54Bに接触している積層箇所の幅を狭くしすぎると、バッファ層54の抵抗値が大きくなるため、DCドリフト発生の抑制効果が得られなくなる。そこで、電極部22が薄膜部位54Bに接触している積層箇所の幅L4は、薄膜部位54Bの厚みL3に比較して広くした。

【0054】

実施例4の第1のDC変調部32Cは、薄膜部位54Bの他に第3の厚膜部位54Cに電極部22の一部22Cを積層することを許容する。実施例3の薄膜部位54Bに比較して、薄膜部位54Bの幅を広くしなくても良くなるため、バッファ層54のエッチング作業が簡易化できる。更に、電極部22が薄膜部位54Bに接触している積層箇所の幅L4は、薄膜部位54Bの厚みL3に比較して広くする。その結果、バッファ層54の抵抗値が小さくできるため、DCドリフトの抑圧効果を確保できる。

【0055】

第2のDC変調部33Cは、薄膜部位54Bの他に第3の厚膜部位54Cに電極部22の一部22Cを積層することを許容する。実施例3の薄膜部位54Bに比較して、薄膜部位54Bの幅を広くしなくても良くなるため、バッファ層54のエッチング作業が簡易化できる。更に、電極部22が薄膜部位54Bに接触している積層箇所の幅L4は、薄膜部位54Bの厚みL3に比較して広くする。その結果、バッファ層54の抵抗値が小さくできるため、DCドリフトの抑圧効果を確保できる。

【0056】

以上、本実施例を含む実施の形態に関し、更に以下の付記を開示する。

【0057】

(付記1) 薄膜LN (Lithium Niobate) 結晶のリブ導波路と、
前記リブ導波路上に積層されたバッファ層と、
前記リブ導波路に電圧を印加する電極と、を有し、
前記バッファ層は、
前記リブ導波路のリブ上に積層された厚膜部位と、
前記リブの両脇にある、前記リブ導波路のスラブ上に積層され、かつ、前記厚膜部位の厚みに比較して薄くした薄膜部位と、
を有することを特徴とする光デバイス。

【0058】

(付記2) 前記厚膜部位は、
当該厚膜部位の幅を前記リブの幅に比較して広くする構造にしたことを特徴とする付記1に記載の光デバイス。

【0059】

(付記3) 前記厚膜部位は、
前記リブを被覆する第1の厚膜部位と、
前記リブの側壁面を被覆すると共に、前記リブ側の前記スラブの一部を被覆する第2の厚膜部位と、を有し、前記第2の厚膜部位の厚みを前記薄膜部位の厚みに比較して厚くする構造にしたことを特徴とする付記2に記載の光デバイス。

【0060】

(付記4) 前記電極の一端が前記第2の厚膜部位から離間するように前記薄膜部位の幅を広くしたことを特徴とする付記3に記載の光デバイス。

【0061】

(付記5) 前記電極の一部は、
前記薄膜部位以外の前記バッファ層の内、前記第1の厚膜部位及び前記第2の厚膜部位と異なる第3の厚膜部位に積層されることを特徴とする付記4に記載の光デバイス。

【0062】

(付記6) 前記電極が前記薄膜部位に接触している積層箇所の幅は、
前記薄膜部位の厚みに比較して広くすることを特徴とする付記5に記載の光デバイス。

【0063】

(付記7) 前記電極は、

DC (Direct Current) 電極であることを特徴とする付記1～6の何れか一つに記載の光デバイス。

【0064】

(付記8) 前記電極は、

RF (Radio Frequency) 電極であることを特徴とする付記1～6の何れか一つに記載の光デバイス。

【0065】

(付記9) 前記バッファ層は、

温度上昇時における前記薄膜LN結晶の抵抗値に比較して抵抗値が高くなる材料で形成されることを特徴とする付記1～6の何れか一つに記載の光デバイス。

【0066】

(付記10) 電気信号に対する信号処理を実行するプロセッサと、

光を発生させる光源と、

前記プロセッサから出力される電気信号を用いて、前記光源から発生する光を変調する光デバイスと、を有し、

前記光デバイスは、

薄膜LN (Lithium Niobate) 結晶のリブ導波路と、

前記リブ導波路上に積層されたバッファ層と、

前記リブ導波路に電圧を印加する電極と、を有し、

前記バッファ層は、

前記リブ導波路のリブ上に積層された厚膜部位と、

前記リブの両脇にある、前記リブ導波路のスラブ上に積層され、かつ、前記厚膜部位の厚みに比較して薄くした薄膜部位と、

を有することを特徴とする光通信装置。

【符号の説明】

【0067】

1 光通信装置

3 DSP

4 光源

5 光変調器

22 電極部

22A 信号電極

22B 接地電極

32, 32A, 32B, 32C 第1のDC変調部

33, 33A, 33B, 33C 第2のDC変調部

54 バッファ層

54A 厚膜部位

54A1 第1の厚膜部位

54A2 第2の厚膜部位

54B 薄膜部位

54C 第3の厚膜部位

60 薄膜光導波路

60A リブ

60A2 側壁面

60B スラブ

10

20

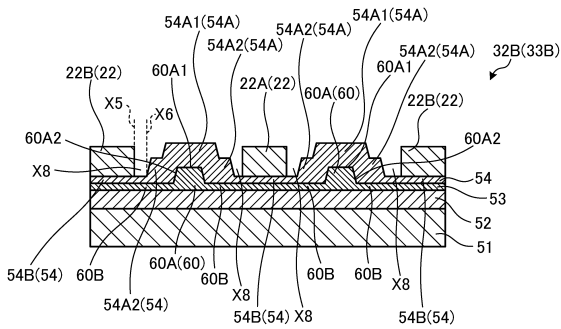
30

40

50

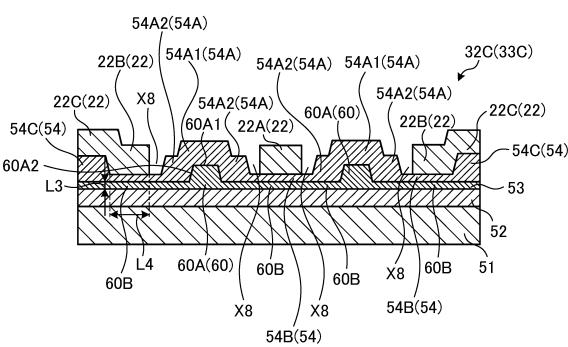
【図 5】

実施例3の光変調器の第1のDC変調部の一例を示す略断面図



【図 6】

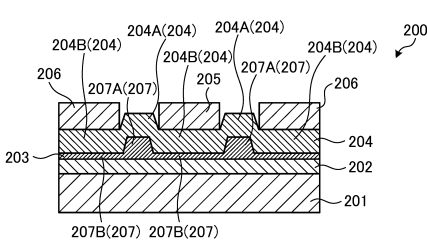
実施例4の光変調器の第1のDC変調部の一例を示す略断面図



10

【図 7】

光変調器のDC変調部の一例を示す略断面図



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2019-152732 (JP, A)
特開 2017-129834 (JP, A)
特開 2011-232529 (JP, A)
特開平 08-166565 (JP, A)
特開平 09-304745 (JP, A)
米国特許第 06021232 (US, A)
国際公開第 2018/031916 (WO, A1)
中国特許出願公開第 111522153 (CN, A)
HONARDOOST, Amirmahdi et al., "Towards subterahertz bandwidth ultracompact lithium niobate electrooptic modulators", Optics Express, 2019年02月21日, Vol. 27, No. 5, pp. 6495-6501, DOI: 10.1364/OE.27.006495
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02F 1/00-1/125
G02F 1/21-1/39
G02B 6/12-6/14
JSTPlus/JST7580 (JDreamII)