(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7585903号
(P7585903)

(45)発行日　令和6年11月19日(2024.11.19)

(24)登録日　令和6年11月11日(2024.11.11)

(51)国際特許分類
Ｇ０２Ｆ　1/035(2006.01)

ＦＩ
Ｇ０２Ｆ　1/035

請求項の数　8　（全22頁）

(21)出願番号　特願2021-42906(P2021-42906)
(22)出願日　令和3年3月16日(2021.3.16)
(65)公開番号　特開2022-142650(P2022-142650A)
(43)公開日　令和4年9月30日(2022.9.30)
審査請求日　令和5年12月1日(2023.12.1)

(73)特許権者　309015134
富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１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　山本 元彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　光デバイス、光通信装置及び光デバイスの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、

前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、

前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、

前記電極は、

前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、

ＤＣ電極の第１の光調整部と、

ＲＦ電極の第２の光調整部と、を有し、

前記第１の光調整部は、

前記突状の第１の光導波路と、

前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、

前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ(Direct Current)側の信号電極及び接地電極とを有し、

ＤＣ側の信号電極と接地電極は、

前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、

前記第２の光調整部は、

前記突状の第２の光導波路と、

前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、

前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ(Radio Frequency)側の信号電極及び接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の信号電極と前記接地電極との電極間隔は、
前記ＲＦ側の信号電極と前記接地電極との電極間隔に比較して狭くすることを特徴とする光デバイス。
【請求項２】
薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、
前記電極は、
前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、
ＤＣ電極の第１の光調整部と、
ＲＦ電極の第２の光調整部とを有し、
前記第１の光調整部は、
第１の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＤＣ側の信号電極と接地電極は、
前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、
前記第２の光調整部は、
第２の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の信号電極と一方の接地電極との間の前記第１の光導波路の導波路幅は、前記ＲＦ側の信号電極と前記一方の接地電極との間の前記第２の光導波路の導波路幅に比較して長くすることを特徴とする光デバイス。
【請求項３】
薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、
前記電極は、
前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、
ＤＣ電極の第１の光調整部と、
ＲＦ電極の第２の光調整部とを有し、
前記第１の光調整部は、
前記突状の第１の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＤＣ側の信号電極と接地電極は、
前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、
前記第２の光調整部は、

前記突状の第２の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の信号電極と一方の接地電極との間の前記第１の光導波路と前記ＤＣ側の信号電極と他方の接地電極との間の前記第１の光導波路との間の導波路間隔は、前記ＲＦ側の信号電極と前記一方の接地電極との間の前記第２の光導波路と前記ＲＦ側の信号電極と他方の接地電極との間の前記第２の光導波路との間の導波路間隔に比較して長くすることを特徴とする光デバイス。

【請求項４】
薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、
前記電極は、
前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、
ＤＣ電極の第１の光調整部と、
ＲＦ電極の第２の光調整部とを有し、
前記第１の光調整部は、
前記突状の第１の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＤＣ側の信号電極と接地電極は、
前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、
前記第２の光調整部は、
前記突状の第２の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の信号電極の厚みは、
前記ＲＦ側の信号電極の厚みに比較して薄くすることを特徴とする光デバイス。

【請求項５】
薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、
前記電極は、
前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、
ＤＣ電極の第１の光調整部と、
ＲＦ電極の第２の光調整部とを有し、
前記第１の光調整部は、
前記突状の第１の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、

ＤＣ側の信号電極と接地電極は、
前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、
前記第２の光調整部は、
前記突状の第２の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ側の信号電極及び一対の接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の接地電極の厚みは、
前記ＲＦ側の接地電極の厚みに比較して薄くすることを特徴とする光デバイス。
【請求項６】
前記第２の光調整部内の前記第２の光導波路と前記第１の光調整部内の前記第１の光導波路との間の接合部は、前記第２の光調整部内の前記第２の光導波路から前記第１の光調整部内の前記第１の光導波路に向けて導波路をテーパー状に幅広くすることを特徴とする請求項１～５の何れか一つに記載の光デバイス。
【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、
薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、
前記電極は、
前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、
ＤＣ電極の第１の光調整部と、
ＲＦ電極の第２の光調整部と、を有し、
前記第１の光調整部は、
前記突状の第１の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ(Direct Current)側の信号電極及び接地電極とを有し、
ＤＣ側の信号電極と接地電極は、
前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、
前記第２の光調整部は、
前記突状の第２の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ(Radio Frequency)側の信号電極及び接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の信号電極と前記接地電極との電極間隔は、
前記ＲＦ側の信号電極と前記接地電極との電極間隔に比較して狭くすることを特徴とする光通信装置。
【請求項８】
薄膜基板の所定箇所に設けられた突状の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、

前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有し、
前記電極は、
前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する光デバイスであって、
ＤＣ電極の第１の光調整部と、
ＲＦ電極の第２の光調整部と、を有し、
前記第１の光調整部は、
前記突状の第１の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第１の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第１の光導波路に電圧を印加するＤＣ(Direct Current)側の信号電極及び接地電極とを有し、
ＤＣ側の信号電極と接地電極は、
前記第１の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆し、
前記第２の光調整部は、
前記突状の第２の光導波路と、
前記薄膜基板及び前記第２の光導波路上に積層された前記バッファ層と、
前記バッファ層上に積層され、前記第２の光導波路に電圧を印加するＲＦ(Radio Frequency)側の信号電極及び接地電極とを有し、
ＲＦ側の信号電極及び接地電極は、
前記第２の光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部と離間し、
前記ＤＣ側の信号電極と前記接地電極との電極間隔は、
前記ＲＦ側の信号電極と前記接地電極との電極間隔に比較して狭くする光デバイスの製造方法において、
支持基板上に積層された前記薄膜基板の所定箇所に前記突状の光導波路を形成し、
前記薄膜基板及び前記光導波路上に前記バッファ層を積層して前記突状の光導波路の側壁に被覆する前記バッファ層の段差部を形成し、
前記バッファ層上の前記段差部の一部を露出するためのレジストを形成した後、メッキ処理で前記バッファ層上に電極を形成する
ことを特徴とする光デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光デバイス、光通信装置及び光デバイスの製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
一般に、例えば、光変調器のような光デバイスは、表面に光導波路が形成された光変調器チップを備えることがある。光変調器チップの光導波路上には信号電極が配置され、信号電極に電圧が印加されると、光変調器チップの表面に対して垂直方向の電界が光導波路内に発生する。この電界によって光導波路の屈折率が変化するため、光導波路を伝搬する光の位相が変化し、光を変調することが可能となる。すなわち、光変調器チップの光導波路は、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信号を出力することができる。
【０００３】
光変調器チップが高速変調を実行する際には、光導波路に沿って配置される信号電極に、例えば、数１０ＧＨｚの帯域を有する高速信号が入力される。このため、信号電極には、広帯域の伝送特性を得ることができるコプレーナ導波路（ＣＰＷ：Coplanar Waveguide）構造が採用されることがある。すなわち、光導波路の上方には、信号電極と、信号電極を挟む一対の接地電極とが配置されることがある。
【０００４】
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ことがある。また、ＬＮ（Lithium Niobate：ニオブ酸リチウム）結晶の薄膜を用いた薄膜光導波路が信号電極と重ならない位置に形成されることがある。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。

【０００５】

図１４は、光変調器のＤＣ電極の一例を示す略断面図である。図１４に示すＤＣ(Direct Current)電極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電極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。

【０００６】

薄膜ＬＮ基板２０３には、上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路２０７が形成される。そして、薄膜ＬＮ基板２０３及び薄膜光導波路２０７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。

【０００７】

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。凸形状の薄膜光導波路２０７は、側壁面２０７Ａと、平坦面２０７Ｂとを有する。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。

【０００８】

このような薄膜光導波路２０７によれば、信号電極２０５に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２０７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】

【０００９】

【文献】米国特許出願公開第２０１３／０１７０７８１号明細書

【文献】特開２０００－６６１５７号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

バッファ層２０３は、例えば、印加されたＤＣ電圧に起因して起きる出射光の経時変化として変動するＤＣドリフトを抑制するために抵抗値が適切な値になるように組成を決めることになる。しかしながら、薄膜光導波路２０７上にバッファ層２０４を成膜した場合に、薄膜光導波路２０７の側壁面２０７Ａを被覆するバッファ層２０４の段差部２０４Ａの厚みは、薄膜光導波路２０７の平坦面２０７Ｂを被覆するバッファ層２０４の段差部２０４Ａの厚みに比較して薄くなる。その結果、薄膜光導波路２０７の側壁面２０７Ａを被覆するバッファ層２０４の段差部２０４Ａにクラックが生じてバッファ層２０４の抵抗値が上昇方向に変化しやすくなる。従って、例えば、ＤＣ電圧を印加しても光変調しないようなＤＣドリフトが正の方向に変化し、ＤＣドリフトが不安定となるため、光変調器の寿命を縮めてしまうおそれがある。

【００１１】

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ドリフトの正方向への変化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】

【００１２】

本願が開示する光デバイスは、１つの態様において、薄膜基板の所定箇所に設けられた

突状の光導波路と、前記薄膜基板及び前記光導波路上に積層されたバッファ層と、前記バッファ層上に積層され、前記光導波路に電圧を印加する電極とを有する。前記電極は、前記光導波路の側壁に積層された前記バッファ層の段差部を被覆する。

【発明の効果】

【００１３】

本願が開示する光デバイス等の１つの態様によれば、ＤＣドリフトの正方向への変化を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

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

【図３Ｂ】図３Ｂは、実施例１の光変調器の第２のＤＣ電極の一例を示す略断面図である。

【図４】図４は、実施例１の光変調器のＲＦ電極の一例を示す略断面図である。

【図５Ａ】図５Ａは、第１のＤＣ電極の中間層形成工程の一例を示す説明図である。

【図５Ｂ】図５Ｂは、第１のＤＣ電極のＬＮ基板形成工程の一例を示す説明図である。

【図５Ｃ】図５Ｃは、第１のＤＣ電極の研磨工程の一例を示す説明図である。

【図６Ａ】図６Ａは、第１のＤＣ電極の薄膜光導波路形成工程の一例を示す説明図である。

【図６Ｂ】図６Ｂは、第１のＤＣ電極のバッファ層形成工程の一例を示す説明図である。

【図６Ｃ】図６Ｃは、第１のＤＣ電極の電極形成工程の一例を示す説明図である。

【図７Ａ】図７Ａは、比較例のＤＣ電極のＤＣドリフトの関係の一例を示す説明図である。

【図７Ｂ】図７Ｂは、実施例１の第１のＤＣ電極のＤＣドリフトの関係の一例を示す説明図である。

【図８】図８は、光変調器のＤＣドリフトの経時変化の一例を示す説明図である。

【図９Ａ】図９Ａは、実施例２の第１のＤＣ電極の一例を示す略断面図である。

【図９Ｂ】図９Ｂは、実施例２のＲＦ電極の一例を示す略断面図である。

【図１０Ａ】図１０Ａは、実施例３の第１のＤＣ電極の一例を示す略断面図である。

【図１０Ｂ】図１０Ｂは、実施例３のＲＦ電極の一例を示す略断面図である。

【図１１Ａ】図１１Ａは、実施例４の第１のＤＣ電極の一例を示す略断面図である。

【図１１Ｂ】図１１Ｂは、実施例４のＲＦ電極の一例を示す略断面図である。

【図１２Ａ】図１２Ａは、実施例５の第１のＤＣ電極の一例を示す略断面図である。

【図１２Ｂ】図１２Ｂは、実施例５のＲＦ電極の一例を示す略断面図である。

【図１３】図１３は、実施例６の光変調器の第１のＤＣ電極とＲＦ電極との間の光導波路の結合構造の一例を示す説明図である。

【図１４】図１４は、光変調器のＤＣ電極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】

【００１５】

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】

【００１６】

図１は、本実施例の光通信装置１の構成の一例を示すブロック図である。図１に示す光通信装置１は、出力側の光ファイバ２Ａ（２）及び入力側の光ファイバ２Ｂ（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。ＤＳＰ３は、デジタル信号処理を実行する電気部品である。ＤＳＰ３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、ＤＳＰ３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。

【００１７】

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、ＤＳＰ３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２Ａ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）光導波路とコプレーナ（ＣＰＷ：Coplanar Waveguide）構造の信号電極とを備える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、この光を信号電極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。

【００１８】

光受信器６は、光ファイバ２Ｂ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ＤＳＰ３に出力する。

【００１９】

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４Ａを接続し、出力側に送信信号送出用の光ファイバ２Ａを接続する。光変調器５は、第１の光入力部１１と、第２の光調整部であるＲＦ(Radio Frequency)変調部１２と、第１の光調整部であるＤＣ(Direct Current)印加部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１１Ａと、第１の導波路接合部１１Ｂとを有する。第１の光導波路１１Ａは、光ファイバ４Ａ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１１Ｂは、第１の光導波路１１Ａ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。

【００２０】

ＲＦ変調部１２は、ＬＮ光導波路２１と、ＲＦ電極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ＲＦ電極２２の信号電極２２Ａ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印加部１３内の第１のＤＣ電極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。

【００２１】

ＲＦ電極２２内の信号電極２２Ａは、ＬＮ光導波路２１に重ならない位置に設けられるＣＷＰ構造の伝送路であり、ＤＳＰ３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。ＲＦ電極２２内の信号電極２２Ａ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２２Ａの終端に接続され、信号電極２２Ａによって伝送される信号の不要な反射を防止する。

【００２２】

ＤＣ印加部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電極３２と、第２のＤＣ電極３３とを有する。第１のＤＣ電極３２は、４個の子側ＭＺ（Mach-Zehnder）である。第２のＤＣ電極３３は、２個の親側ＭＺである。

【００２３】

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電極３２を配置している。第１のＤＣ電極３２は、ＬＮ光導波路３１上の信号電極３２Ａ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電極３３を配置している。第２のＤＣ電極３３は、ＬＮ

光導波路３１上の信号電極３３Ａ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。

【００２４】

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印加部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。

【００２５】

ＰＲ４３は、一方の第２のＤＣ電極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に入力する。ＰＢＣ４４は、ＰＲ４３からの垂直偏波の光信号と、他方の第２のＤＣ電極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。

【００２６】

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３Ａは、実施例１の光変調器５の第１のＤＣ電極３２の一例を示す略断面図である。図３Ａに示す第１のＤＣ電極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電極３２は、中間層５２に積層された薄膜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、バッファ層５４に積層された、ＣＷＰ構造の信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂとを有する。

【００２７】

薄膜ＬＮ基板５３には、ＬＮ結晶の薄膜を用いた基板であって、所定箇所を上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路５５が形成される。そして、薄膜ＬＮ基板５３及び薄膜光導波路５５がバッファ層５４によって被覆され、バッファ層５４の表面にＣＷＰ構造の信号電極３２Ａ及び一対の接地電極３２Ｂが配置される。つまり、バッファ層５４上には、信号電極３２Ａと、信号電極３２Ａを挟む一対の接地電極３２Ｂとが配置されている。

【００２８】

信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの間に位置する薄膜ＬＮ基板５３には、突状、例えば、凸形状の薄膜光導波路５５が形成されている。凸形状の薄膜光導波路５５は、側壁面５５Ａと、平坦面５５Ｂとを有する。更に、信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの間に位置するバッファ層５４にも、凸形状の薄膜光導波路５５全体を被覆する段差部５４Ａがある。薄膜光導波路５５の側壁面５５Ａを被覆する段差部５４Ａは、その側壁面５４１Ａを接地電極３２Ｂ及び信号電極３２Ａの一部で被覆する。

【００２９】

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

【００３０】

中間層５２とバッファ層５４との間には、厚さが０．５～３μｍの薄膜ＬＮ基板５３が挟まれており、薄膜ＬＮ基板５３には、上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路５５が形成されている。薄膜光導波路５５となる突起の幅は、例えば、１～８μｍ程度である。薄膜ＬＮ基板５３及び薄膜光導波路５５は、バッファ層５４によって被覆されており、バッファ層５４の表面に信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂが配置される。つまり、信号電極３２Ａは、一対の接地電極３２Ｂに対向している。信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの間の電極間隔をＸ１とする。

【００３１】

信号電極３２Ａは、例えば、金や銅等の金属材料からなり、幅が２～１０μｍ、厚みが１～２０μｍの信号電極である。接地電極３２Ｂは、例えば、アルミニウム等の金属材料

からなり、厚みが１μｍ以上の接地電極である。ＤＳＰ３から出力される電気信号に応じた高周波信号が信号電極３２Ａによって伝送されることにより、信号電極３２Ａから接地電極３２Ｂへ向かう方向の電界が発生し、この電界が薄膜光導波路５５に印加される。その結果、薄膜光導波路５５への電界印加に応じて薄膜光導波路５５の屈折率が変化し、薄膜光導波路５５を伝搬する光を変調することが可能となる。

【００３２】

図３Ｂは、実施例１の光変調器５の第２のＤＣ電極３３の一例を示す略断面図である。図３Ｂに示す第２のＤＣ電極３３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２のＤＣ電極３３は、中間層５２に積層された薄膜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、バッファ層５４に積層された、ＣＷＰ構造の信号電極３３Ａ及び接地電極３３Ｂとを有する。

【００３３】

薄膜ＬＮ基板５３には、上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路５５が形成される。そして、薄膜ＬＮ基板５３及び薄膜光導波路５５がバッファ層５４によって被覆され、バッファ層５４の表面にＣＷＰ構造の信号電極３３Ａ及び一対の接地電極３３Ｂが配置される。つまり、バッファ層５４上には、信号電極３３Ａと、信号電極３３Ａを挟む一対の接地電極３３Ｂとが配置されている。信号電極３３Ａと接地電極３３Ｂとの間の電極間隔をＸ１とする。

【００３４】

信号電極３３Ａと接地電極３３Ｂとの間に位置する薄膜ＬＮ基板５３には、凸形状の薄膜光導波路５５が形成されている。凸形状の薄膜光導波路５５は、側壁面５５Ａと、平坦面５５Ｂとを有する。更に、信号電極３３Ａと接地電極３３Ｂとの間に位置するバッファ層５４にも、凸形状の薄膜光導波路５５全体を被覆する段差部５４Ａがある。薄膜光導波路５５の側壁面５５Ａを被覆する段差部５４Ａは、段差部５４Ａの側壁面５４１Ａを接地電極３３Ｂ及び信号電極３３Ａで被覆する。

【００３５】

信号電極３３Ａは、例えば、金や銅等の金属材料からなり、幅が２～１０μｍ、厚みが１～２０μｍの信号電極である。接地電極３３Ｂは、例えば、金、銅やアルミニウム等の金属材料からなり、厚みが１μｍ以上の接地電極である。ＤＳＰ３から出力される電気信号に応じた高周波信号が信号電極３３Ａによって伝送されることにより、信号電極３３Ａから接地電極３３Ｂへ向かう方向の電界が発生し、この電界が薄膜光導波路５５に印加される。その結果、薄膜光導波路５５への電界印加に応じて薄膜光導波路５５の屈折率が変化し、薄膜光導波路５５を伝搬する光を変調することが可能となる。

【００３６】

図４は、実施例１の光変調器５のＲＦ電極２２の一例を示す略断面図である。図４に示すＲＦ電極２２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、ＲＦ電極２２は、中間層５２に積層された薄膜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、バッファ層５４に積層された、ＣＷＰ構造の信号電極２２Ａ及び接地電極２２Ｂとを有する。

【００３７】

薄膜ＬＮ基板５３には、上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路６０が形成される。そして、薄膜ＬＮ基板５５及び薄膜光導波路６０がバッファ層５４によって被覆され、バッファ層５４の表面にＣＷＰ構造の信号電極２２Ａ及び一対の接地電極２２Ｂが配置される。つまり、バッファ層５４上には、信号電極２２Ａと、信号電極２２Ａを挟む一対の接地電極２２Ｂとが配置されている。

【００３８】

信号電極２２Ａと接地電極２２Ｂとの間に位置する薄膜ＬＮ基板５３には、凸形状の薄膜光導波路６０が形成されている。凸形状の薄膜光導波路６０は、側壁面６０Ａと、平坦面６０Ｂとを有する。更に、信号電極２２Ａと接地電極２２Ｂとの間に位置するバッファ層５４にも、凸形状の薄膜光導波路６０全体を被覆する段差部５４Ｂがある。薄膜光導波

路６０の側壁面６０Ａを被覆する段差部５４Ｂの側壁面５４１Ｂは、接地電極２２Ｂ及び信号電極２２Ａと離間している。

【００３９】

中間層５２とバッファ層５４との間には、厚さが０．５～３μｍの薄膜ＬＮ基板５３が挟まれており、薄膜ＬＮ基板５３には、上方へ突起する凸形状の薄膜光導波路６０が形成されている。薄膜光導波路６０となる突起の幅は、例えば、１～８μｍ程度である。薄膜ＬＮ基板５３及び薄膜光導波路６０は、バッファ層５４によって被覆されており、バッファ層５４の表面に信号電極２２Ａ及び接地電極２２Ｂが配置される。信号電極２２Ａと接地電極２２Ｂとの間の電極間隔をＸ２とする。尚、電極間隔Ｘ１＜電極間隔Ｘ２とする。

【００４０】

また、信号電極２２Ａは、高周波損失の小さい、接地電極２２Ｂと異なる材料であることが望ましい。

【００４１】

信号電極２２Ａは、例えば、金や銅等の金属材料からなり、幅が２～１０μｍ、厚みが１～２０μｍの電極である。接地電極２２Ｂは、例えば、アルミニウム等の金属材料からなり、厚みが１μｍ以上の電極である。ＤＳＰ３から出力される電気信号に応じた高周波信号が信号電極２２Ａによって伝送されることにより、信号電極２２Ａから接地電極２２Ｂへ向かう方向の電界が発生し、この電界が薄膜光導波路６０に印加される。その結果、薄膜光導波路６０への電界印加に応じて薄膜光導波路６０の屈折率が変化し、薄膜光導波路６０を伝搬する光を変調することが可能となる。

【００４２】

次に実施例１の第１のＤＣ電極３２の製造工程の一例を示す説明図である。尚、第１のＤＣ電極３２の製造工程について説明するが、第２のＤＣ電極３３の製造工程についても同一の工程を含むものであり、同一工程には同一符号を付すことで、その重複する構成及び工程の説明については省略する。

【００４３】

図５Ａは、第１のＤＣ電極３２の中間層形成工程の一例を示す説明図である。図５Ａに示す支持基板５１上に中間層５２を製膜する。図５Ｂは、第１のＤＣ電極３２のＬＮ基板形成工程の一例を示す説明図である。図５Ｂに示す中間層５２上にＬＮ基板５３Ａをボンディングする。図５Ｃは、第１のＤＣ電極３２の研磨工程の一例を示す説明図である。図５Ｃに示す中間層５２上にボンディングされたＬＮ基板５３Ａを研磨処理等で薄膜化することで、中間層５２上に薄膜ＬＮ基板５３を形成する。

【００４４】

図６Ａは、第１のＤＣ電極３２の薄膜光導波路形成工程の一例を示す説明図である。図６Ａに示す薄膜ＬＮ基板５３をエッチングすることで薄膜ＬＮ基板５３上の所定箇所に凸形状の薄膜光導波路５５を形成する。

【００４５】

図６Ｂは、第１のＤＣ電極３２のバッファ層形成工程の一例を示す説明図である。図６Ｂに示す薄膜ＬＮ基板５３及び薄膜光導波路５５上にバッファ層５４を製膜する。その薄膜光導波路５５上にバッファ層５４の段差部５４Ａを形成することになる。この際、段差部５４Ａの側壁は平坦面に比較して側壁の製膜が薄くなる場合もある。

【００４６】

図６Ｃは、第１のＤＣ電極３２の電極形成工程の一例を示す説明図である。図６Ｃに示すバッファ層５４上に、薄膜光導波路５５の平坦面５５Ｂ上の段差部５４Ａをレジストした後、電解メッキ処理等で信号電極３２Ａと一対の接地電極３２Ｂとをバッファ層５４上に形成する。そして、薄膜光導波路５５の側壁面５５Ａ上の段差部５４Ａ上にある接地電極３２Ｂ及び信号電極３２Ａの厚さが厚くなるため、その接地電極３２Ｂ及び信号電極３２Ａの厚みを調整する余分なメッキ部分を除去して第１のＤＣ電極３２を製造することになる。

【００４７】

図７Ａは、比較例の光変調器のＤＣ電極のＤＣドリフトの関係の一例を示す説明図、図７Ｂは、実施例１の光変調器５の第１のＤＣ電極３２のＤＣドリフトの関係の一例を示す説明図、図８は、光変調器のＤＣドリフトの経時変化の一例を示す説明図である。ＤＣドリフトは、バッファ層２０４（５４）及び薄膜光導波路２０７（５５）の抵抗及びキャパシタンスに依存する。バッファ層２０４（５４）の抵抗をＲｂ、バッファ層２０４（５４）のキャパシタンスをＣｂ、薄膜光導波路２０７（５５）の抵抗をＲＬ、薄膜光導波路２０７（５５）のキャパシタンスをＣＬとする。

【００４８】

電界印加初期においてはキャパシタンスに電荷が蓄積される効果により、キャパシタンスが薄膜光導波路２０７に印加される電界を決定することになる。従って、信号電極２０５と接地電極２０６との間に電圧Ｖｉｎを印加したときの薄膜光導波路２０７にかかる電圧は、１/（１＋ＣＬ/Ｃｂ）＊Ｖｉｎとなる。一方で、一定期間が経過した場合、キャパシタンスに電荷が蓄積されて安定化した場合、抵抗が薄膜光導波路２０７に印加される電界を決定することになる。従って、信号電極２０５と接地電極２０６との間に電圧Ｖｉｎを印加したときに薄膜光導波路２０７にかかる電圧は、ＲＬ/（Ｒｂ＋ＲＬ）＊Ｖｉｎとなる。同様に、電界印加初期では、信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの間に電圧Ｖｉｎを印加したときの薄膜光導波路５５にかかる電圧も、１/（１＋ＣＬ/Ｃｂ）＊Ｖｉｎとなる。一方で、一定期間が経過した場合、信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの間に電圧Ｖｉｎを印加したときに薄膜光導波路５５にかかる電圧はＲＬ/（Ｒｂ＋ＲＬ）＊Ｖｉｎとなる。

【００４９】

図７Ａの薄膜光導波路２０７を被膜するバッファ層２０４の段差部２０４Ａは、バッファ層２０４の厚みが薄くなってクラックが入り、バッファ層２０４の抵抗値が上昇して、周囲の環境により抵抗値が不安定になる。特に、段差部２０４Ａの内、側壁の部分の厚みの薄さが顕著となってクラックが生じやすい。

【００５０】

図７Ａに示すＤＣ電極では、バッファ層２０４の抵抗値Ｒｂが薄膜光導波路２０７の抵抗値ＲＬに比較して高くなると、信号電極２０５と接地電極２０６との間に電圧Ｖｉｎを印加したときに薄膜光導波路２０７にかかる電圧が低下して光変調されにくくなる。尚、薄膜光導波路２０７にかかる電圧は、ＲＬ/（Ｒｂ＋ＲＬ）＊Ｖｉｎである。その結果、図８に示すようにＤＣドリフトが正の方向（ＤＣ電圧をかけても変調しない）に変化してしまうことになる。特に薄膜光導波路２０７がＸカット基板を採用しているため、その影響は顕著となる。

【００５１】

これに対して、図７Ｂに示す第１のＤＣ電極３２では、バッファ層５４の段差部５４Ａの側壁を信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆することで、バッファ層５４の抵抗値Ｒｂは安定して小さくなる。更に、薄膜光導波路５５にかかる電圧（ＲＬ/（Ｒｂ＋ＲＬ）＊Ｖｉｎ）が安定して高くなるため、図８に示すようにＤＣドリフトが正の方向に変化するのを抑制できる。しかも、薄膜光導波路５５を被膜するバッファ層５４の段差部５４Ａの側壁の厚みが薄くなった場合でも、その側壁を信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆するので、段差部５４Ａの側壁の強度を強化し、比較例で指摘したクラックが入るような事態を回避できる。その結果、クラックによるバッファ層５４の抵抗値が上昇するような事態を回避し、抵抗値を安定化できる。特に薄膜光導波路５５がＸカット基板を採用しているため、その効果は顕著となる。

【００５２】

実施例１の光変調器５の第１のＤＣ電極３２は、凸形状の薄膜光導波路５５の側壁部５５Ａに積層されたバッファ層５４の段差部５４Ａを信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆する。その結果、信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂによる被覆で段差部５４Ａの抵抗値が安定化して小さくなる。薄膜光導波路５５にかかる電圧が安定して高くなるため、ＤＣドリフトが正方向に変化するような事態を回避することで、光変調器５の寿命

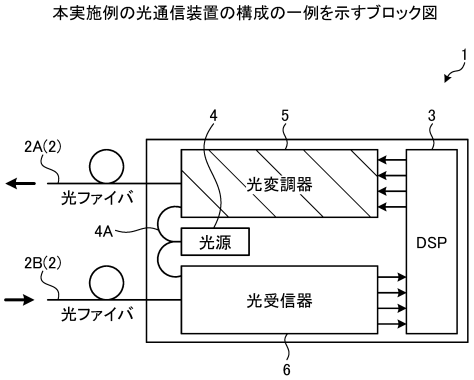
を延ばすことができる。
【００５３】
第２のＤＣ電極３３は、凸形状の薄膜光導波路５５の側壁部５５Ａに積層されたバッファ層５４の段差部５４Ａを信号電極３３Ａ及び接地電極３３Ｂの一部で被覆する。その結果、信号電極３３Ａ及び接地電極３３Ｂによる被覆で段差部５４Ａの抵抗値が安定化して小さくなる。薄膜光導波路５５にかかる電圧が安定して高くなるため、ＤＣドリフトが正方向に変化するような事態を回避することで、光変調器５の寿命を延ばすことができる。
【００５４】
第１のＤＣ電極３２の信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの電極間隔Ｘ１を、ＲＦ電極２２の信号電極２２Ａと接地電極２２Ｂとの電極間隔Ｘ２に比較して狭くしたので、段差部５４Ａを信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆することできる。
【００５５】
これに対して、光変調器５のＲＦ電極２２の信号電極２２Ａと接地電極２２Ｂとの電極間隔Ｘ２を、第１のＤＣ電極３２の信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの電極間隔Ｘ１に比較して広くしたので、高周波信号の伝搬損失を少なくして変調帯域幅が広くできる。
【００５６】
第２のＤＣ電極３３の接地電極３３Ｂと信号電極３３Ａとの間の電極間隔Ｘ１を、ＲＦ電極２２の接地電極２２Ｂと信号電極２２Ａとの間の電極間隔Ｘ２に比較して狭くしたので、段差部５４Ａを信号電極３３Ａ及び接地電極３３Ｂの一部で被覆することできる。
【００５７】
尚、説明の便宜上、光変調器５としてＬＮ光変調器を例示したが、例えば、ポリマ変調器に適用しても良く、適宜変更可能である。
【００５８】
尚、上記実施例１の光変調器５では、第１のＤＣ電極３２及びＲＦ電極２２の電極間隔を調整する場合を例示したが、第１のＤＣ電極３２及びＲＦ電極２２の導波路幅を調整しても良く、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】
【００５９】
図９Ａは、実施例２の第１のＤＣ電極３２の一例を示す略断面図、図９Ｂは、実施例２のＲＦ電極２２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９Ａに示す第１のＤＣ電極３２内の薄膜光導波路５５の平坦面５５Ｂの幅である導波路幅Ｌ１は、図９Ｂに示すＲＦ電極２２内の薄膜光導波路６０の平坦面６０Ｂの幅である導波路幅Ｌ２に比較して狭くする。
【００６０】
その結果、ＲＦ電極２２の導波路幅Ｌ２は、第１のＤＣ電極３２の導波路幅Ｌ１に比較して広くしたので、製造プロセスの誤差により接地電極２２Ｂと信号電極２２Ａとの間でショートする確率が小さくなるため、歩留まりの劣化を抑制できる。
【００６１】
更に、光変調器５の第１のＤＣ電極３２も、凸形状の薄膜光導波路５５の側壁部５５Ａに積層されたバッファ層５４の段差部５４Ａを信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆する。その結果、段差部５４Ａの抵抗値が安定化して小さくなり、薄膜光導波路５５にかかる電圧が安定して高くなるため、ＤＣドリフトが正方向に変化するような事態を回避することで、光変調器５の寿命を延ばすことができる。
【００６２】
しかしながら、実施例２の第１のＤＣ電極３２内の薄膜光導波路５５の平坦面５５Ｂの導波路幅Ｌ１を広くし過ぎると、薄膜導波路５５間の間隔が狭くなるため、薄膜導波路５５間での光結合が問題となる。そこで、このような光結合の問題を解消する光変調器５の実施の形態につき、実施例３として以下に説明する。
【実施例３】

【００６３】
図１０Ａは、実施例３の第１のＤＣ電極３２の一例を示す略断面図、図１０Ｂは、実施例３のＲＦ電極２２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１０Ａに示す第１のＤＣ電極３２内の信号電極３２Ａを挟んだ隣接する薄膜光導波路５５間の導波路間隔Ｐ１は、図１０Ｂに示すＲＦ電極２２内の信号電極２２Ａを挟んだ隣接する薄膜光導波路６０間の導波路間隔Ｐ２に比較して広くする。その結果、導波路間での光結合の問題が解消できる。
【００６４】
更に、光変調器５の第１のＤＣ電極３２も、凸形状の薄膜光導波路５５の側壁部５５Ａに積層されたバッファ層５４の段差部５４Ａを信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆する。その結果、段差部５４Ａの抵抗値が安定化して小さくなり、薄膜光導波路５５にかかる電圧が安定して高くなるため、ＤＣドリフトが正方向に変化するような事態を回避することで、光変調器５の寿命を延ばすことができる。
【００６５】
尚、実施例１の光変調器５では、第１のＤＣ電極３２の信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの電極間隔を狭めると、製造プロセス誤差による信号電極３２Ａと接地電極３２Ｂとの間のショートの可能性が高くなる。そこで、電極を薄くすることで、このような事態を回避できる。しかしながら、ＲＦ電極２２の厚みを薄くした場合には、高周波での抵抗が増大し、帯域が劣化する。そこで、このような事態を解消する実施の形態として実施例４について説明する。
【実施例４】
【００６６】
図１１Ａは、実施例４の第１のＤＣ電極３２の一例を示す略断面図である。図１１Ｂは、実施例４のＲＦ電極２２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１１Ａに示す第１のＤＣ電極３２内の信号電極３２Ａの厚みＭ１は、図１１Ｂに示すＲＦ電極２２内の信号電極２２Ａの厚みＭ２に比較して薄くする。その結果、ＲＦ電極２２での高周波での抵抗の増大を抑制し、帯域が劣化するのを回避できる。
【００６７】
更に、光変調器５の第１のＤＣ電極３２も、凸形状の薄膜光導波路５５の側壁部５５Ａに積層されたバッファ層５４の段差部５４Ａを信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆する。その結果、段差部５４Ａの抵抗値が安定化して小さくなり、薄膜光導波路５５にかかる電圧が安定して高くなるため、ＤＣドリフトが正方向に変化するような事態を回避することで、光変調器５の寿命を延ばすことができる。
【実施例５】
【００６８】
図１２Ａは、実施例５の第１のＤＣ電極の一例を示す略断面図、図１２Ｂは、実施例５のＲＦ電極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１２Ａに示す第１のＤＣ電極３２内の接地電極３２Ｂの厚みは、図１２Ｂに示すＲＦ電極２２内の接地電極２２Ｂの厚みに比較して薄くする。その結果、第１のＤＣ電極３２内の接地電極３２Ｂの厚みがＲＦ電極２２内の接地電極２２Ｂの厚みに比較して薄くしたので、ＲＦ電極２２の帯域を維持しながら、第１のＤＣ電極３２の歩留まり劣化を抑制できる。
【００６９】
更に、光変調器５の第１のＤＣ電極３２も、凸形状の薄膜光導波路５５の側壁部５５Ａに積層されたバッファ層５４の段差部５４Ａを信号電極３２Ａ及び接地電極３２Ｂの一部で被覆する。その結果、段差部５４Ａの抵抗値が安定化して小さくなり、薄膜光導波路５５にかかる電圧が安定して高くなるため、ＤＣドリフトが正方向に変化するような事態を回避することで、光変調器５の寿命を延ばすことができる。

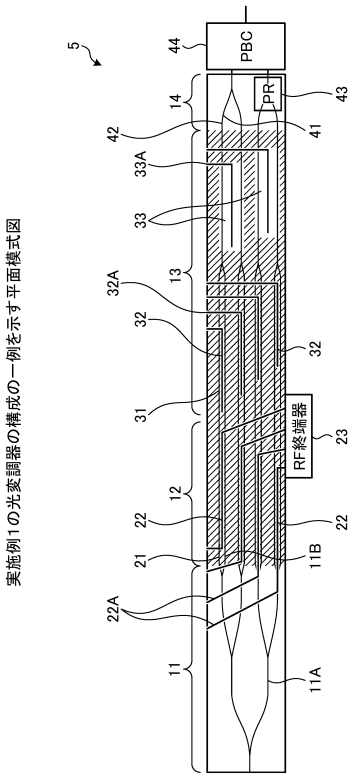
【実施例６】
【００７０】
図１３は、実施例６の光変調器５の第１のＤＣ電極３２とＲＦ電極２２との間の光導波路の結合構造の一例を示す説明図である。尚、実施例１の光変調器５と同一の構成には同一符号を付すことで、その重複する構成及び動作の説明については省略する。図１３に示すＲＦ電極２２内の薄膜光導波路６０と第１のＤＣ電極３２内の薄膜光導波路５５との間の接合部は、薄膜光導波路６０から薄膜光導波路５５に向けてＬＮ光導波路２１（３１）をテーパー状に幅広くする。その結果、ＲＦ電極２２の薄膜光導波路６０と第１のＤＣ電極３２の薄膜光導波路５５との光導波路幅が異なる場合でも、両者間で光の散乱損失の発生を抑制できる。ＲＦ電極２２の薄膜光導波路６０から第１のＤＣ電極３２の薄膜光導波路５５までの光伝播結合の効率の向上を図ることができる。
【符号の説明】
【００７１】
１　光通信装置
３　ＤＳＰ
４　光源
５　光変調器
２２　ＲＦ電極
２２Ａ　信号電極
２２Ｂ　接地電極
３２　第１のＤＣ電極
３２Ａ　信号電極
３２Ｂ　接地電極
３３　第２のＤＣ電極
３３Ａ　信号電極
３３Ｂ　接地電極
５３　薄膜基板
５４　バッファ層
５４Ａ　段差部
５４Ｂ　段差部
５５　薄膜光導波路
５５Ａ　側壁面
６０　薄膜光導波路
６０Ａ　側壁面

【図面】

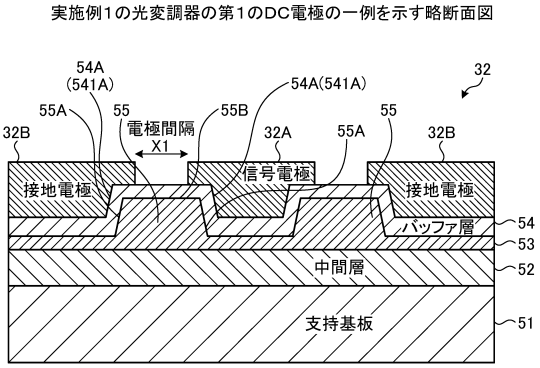
【図１】



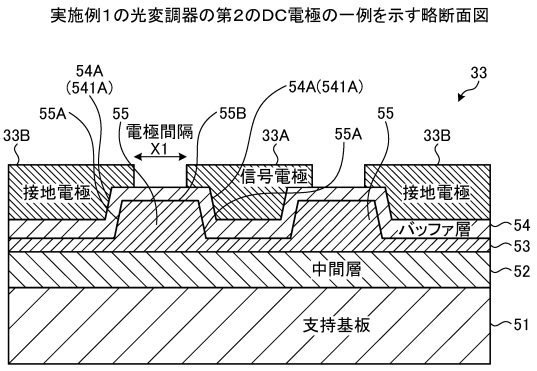
【図２】



【図３Ａ】

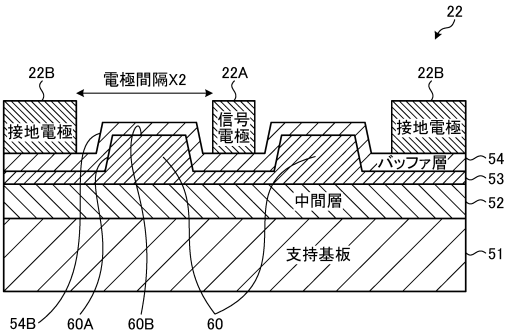


【図３Ｂ】



【図４】

実施例1の光変調器のRF電極の一例を示す略断面図



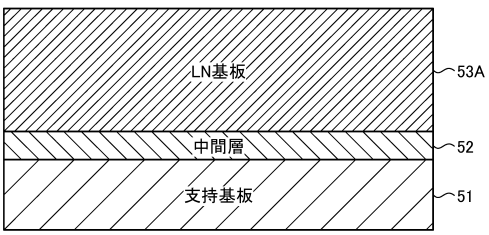
【図５Ａ】

第1のDC電極の中間層形成工程の一例を示す説明図



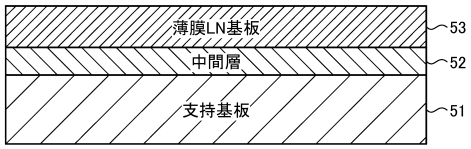
【図５Ｂ】

第1のDC電極のLN基板形成工程の一例を示す説明図



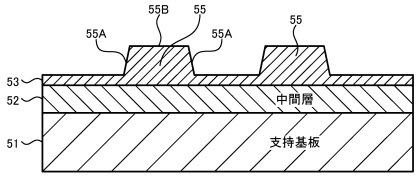
【図５Ｃ】

第1のDC電極の研磨工程の一例を示す説明図



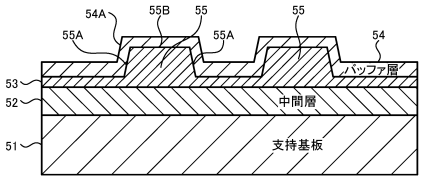
【図６Ａ】

第１のDC電極の薄膜光導波路形成工程の一例を示す説明図



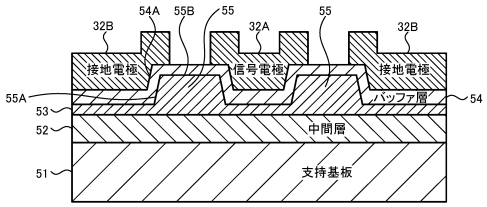
【図６Ｂ】

第１のDC電極のバッファ層形成工程の一例を示す説明図



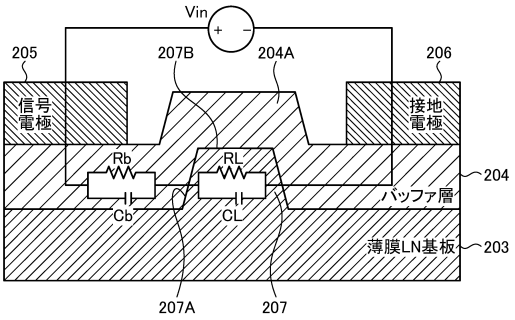
【図６Ｃ】

第１のDC電極の電極形成工程の一例を示す説明図



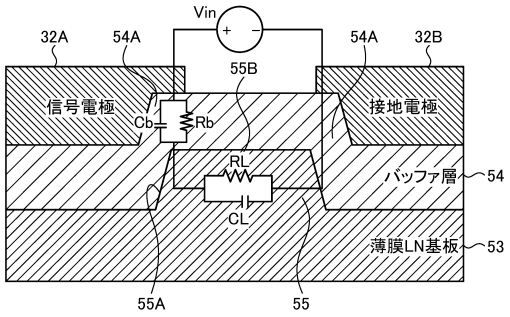
【図７Ａ】

比較例のDC電極のDCドリフトの関係の一例を示す説明図



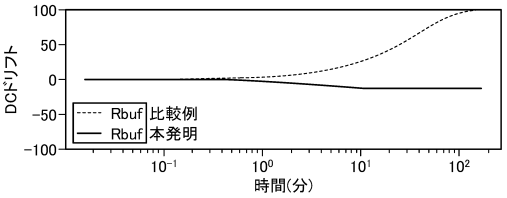
【図７Ｂ】

実施例1の第1のDC電極のDCドリフトの関係の一例を示す説明図



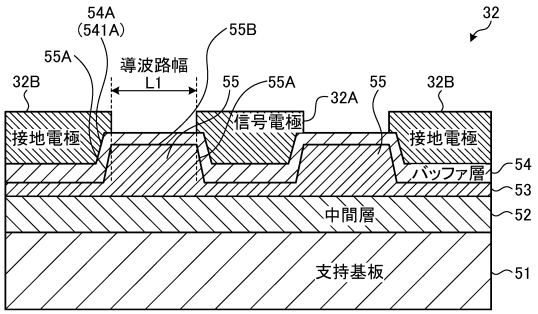
【図８】

光変調器のDCドリフトの経時変化の一例を示す説明図



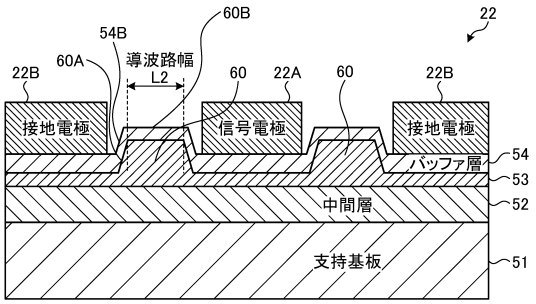
【図９Ａ】

実施例2の第1のDC電極の一例を示す略断面図



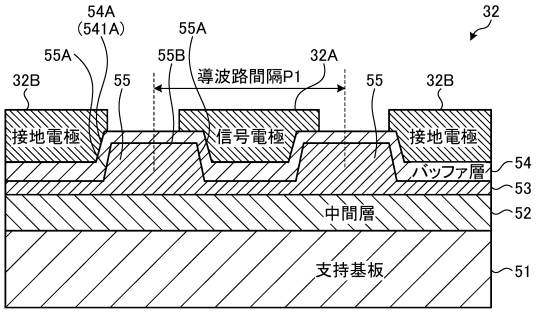
【図９Ｂ】

実施例2のRF電極の一例を示す略断面図



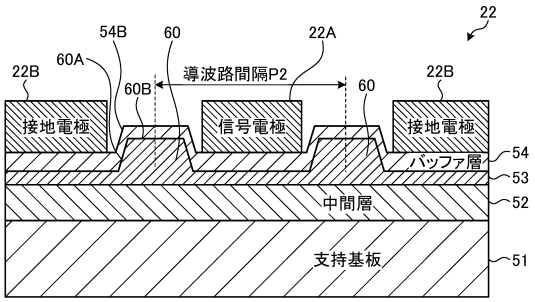
【図１０Ａ】

実施例3の第1のDC電極の一例を示す略断面図



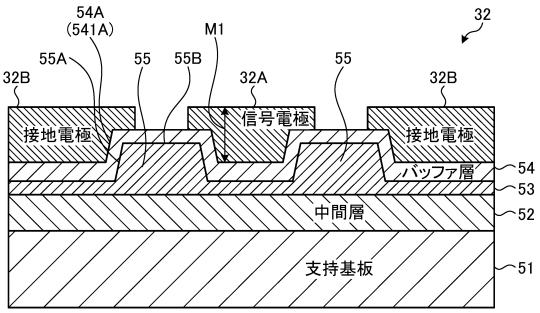
【図１０Ｂ】

実施例3のRF電極の一例を示す略断面図



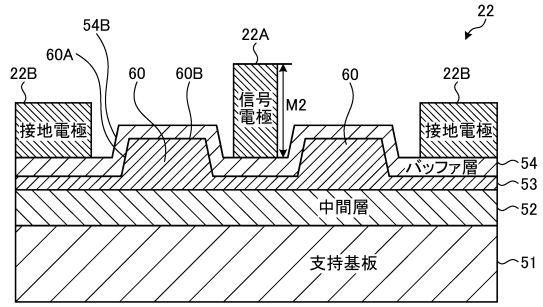
【図１１Ａ】

実施例4の第1のDC電極の一例を示す略断面図



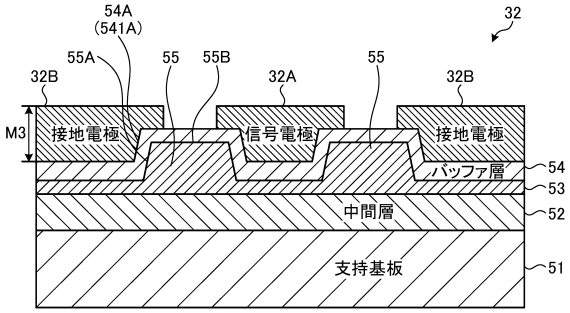
【図１１Ｂ】

実施例4のRF電極の一例を示す略断面図



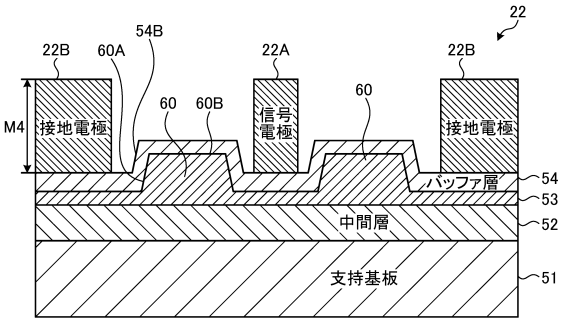
【図１２Ａ】

実施例5の第1のDC電極の一例を示す略断面図



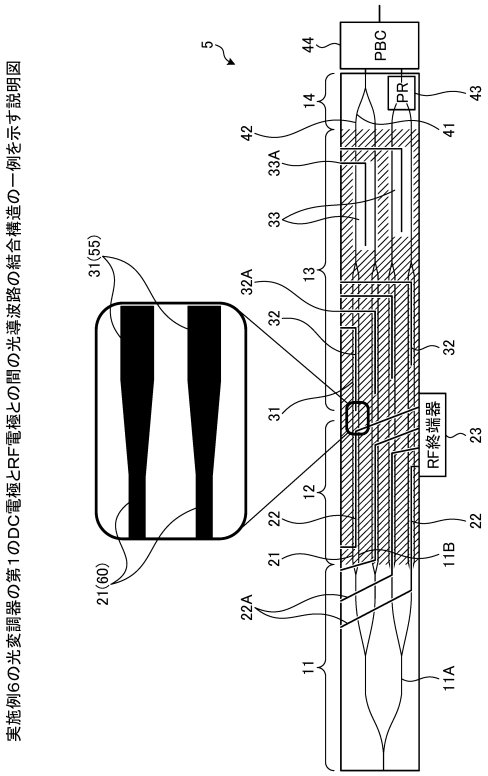
【図１２Ｂ】

実施例5のRF電極の一例を示す略断面図



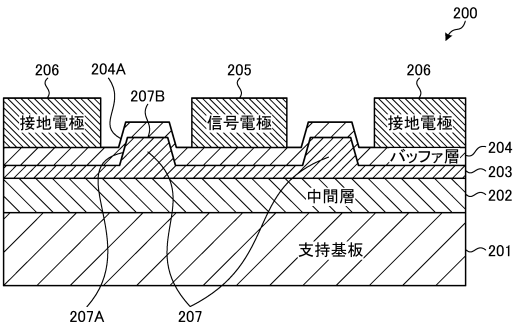
【図１３】

実施例6の光変調器の第1のDC電極とRF電極との間の光導波路の結合構造の一例を示す説明図



【図１４】

光変調器のDC電極の一例を示す略断面図



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００８－２５００８０（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－０１７６８３（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２９５６７５（ＪＰ，Ａ）
特開２０２０－０２０９５３（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１４／０１６９４０（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１３／０１７０７８１（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｆ　１／００－１／１２５，１／２１－７／００
Ｇ０２Ｂ　６／１２－６／１４
ＪＳＴＰｌｕｓ／ＪＳＴＣｈｉｎａ／ＪＳＴ７５８０（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）