

(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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 本発明は、凸状光導波路を用いる光導波路素子において、伝搬光を制御する電極の存在により伝搬光に損失が発生するのを効果的に抑制することを目的とする。本発明の光導波路素子は、光導波路(226a)が形成された基板(220)と、基板の上に形成された、光導波路を伝搬する光波を制御する電極(230a、230b)と、を有する光導波路素子であって、上記光導波路(226a)は基板上に延在する凸部(300)により構成され、電極(230a、230b)は、上記基板との間にNbで構成される下地層(304a、304b)と、下地層の上に形成された上部層(302a、302b)と、で構成されている。

明 細 書

発明の名称：光導波路素子、および光変調器

技術分野

[0001] 本発明は、光導波路を用いた機能素子である光導波路素子、及び光導波路素子である光変調素子を用いた光変調器に関する。

背景技術

[0002] 高速／大容量光ファイバ通信システムにおいては、導波路型の光変調器を組み込んだ光送信装置が多く用いられている。中でも、電気光学効果を有する LiNbO_3 （以下、LNともいう）を基板に用いた光変調素子は、インジウムリン（InP）、シリコン（Si）、あるいはガリウム砒素（GaAs）などの半導体系材料を用いた光変調素子に比べて、光の損失が少なく且つ広帯域な光変調特性を実現し得ることから、高速／大容量光ファイバ通信システムに広く用いられている。

[0003] 一方、光ファイバ通信システムにおける変調方式は、近年の伝送容量の増大の流れを受け、QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）やDP-QPSK（Dual Polarization - Quadrature Phase Shift Keying）等、多値変調や、多値変調に偏波多重を取り入れた伝送フォーマットが主流となっている。

[0004] 近年のインターネットサービスの普及加速は通信トラフィックのより一層の増大を招き、光変調素子の更なる小型化、広帯域化、省電力化の検討が今も進められている。

[0005] そのような光変調素子の小型化、広帯域化、省電力化の一つの策として、基板中における信号電界と導波光との相互作用をより強めるべく（すなわち、電界効率を高めるべく）薄膜化したLN基板（例えば、厚さ $20\mu\text{m}$ 以下）の表面に帯状の凸部を形成することで構成されるリブ型光導波路またはリッジ型光導波路（以下、総称して凸状光導波路という）を用いた光変調器も

実用化されつつある（例えば、特許文献 1、2）。

[0006] 現在では、さらなる高速化のため、電界効率を更に高めるべく、凸状光導波路の位置により近接して電極を設ける検討も進められている。電極の構造としては Au（金）が主に用いられるが、Au は、LN 基板に対する密着性が低く、実用上十分な固着強度を得られないことから、一般的には、電極の下地層として Ti（チタン）の膜を形成することで、基板に対する電極の固着強度が確保される。

[0007] しかしながら、本発明の発明者の知見では、上記の構成を有する従来の電極をリブ型光導波路の位置により近接して設けた場合には、凸状光導波路を伝搬する光波に顕著な光損失が発生し得る。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開 2007-264548 号公報

特許文献2：国際公開第 2018/031916 号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 上記背景より、リブ型光導波路やリッジ型光導波路等の凸状光導波路を用いる光導波路素子において、凸状光導波路に近接して設けられた電極により伝搬光に損失が発生するのを抑制することが求められている。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の一の態様は、光導波路が形成された基板と、前記基板の上に形成された、前記光導波路を伝搬する光波を制御する電極と、を有する光導波路素子であって、前記光導波路は、前記基板上に延在する凸部により構成され、前記電極は、前記基板との間に Nb で構成される下地層と、下地層の上に形成された上部層と、で構成されている。

本発明の他の態様によると、前記下地層は、30nm 以下の厚さである。

本発明の他の態様によると、前記下地層は、酸素原子を含む前記基板上に

形成されるか、または前記基板上に形成された酸化物の膜の上に形成される。

本発明の他の態様によると、前記下地層は、酸素原子を含み、酸素に対するNbの元素比率Nb/Oが1.0以上である。

本発明の他の態様によると、前記電極は、前記基板上において、前記光導波路を挟む位置に当該光導波路に沿って配された複数の電極で構成される。

本発明の他の態様は、光の変調を行う光変調素子である上記いずれかの光導波路素子と、光導波路素子を収容する筐体と、前記光導波路素子に光を入力する光ファイバと、前記光導波路素子が出力する光を前記筐体の外部へ導く光ファイバと、を備える光変調器である。

なお、この明細書には、2020年9月30日に出願された日本国特許出願・特願2020-164627号の全ての内容が含まれるものとする。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、リブ型光導波路やリッジ型光導波路等の凸状光導波路を用いる光導波路素子において、凸状光導波路に近接して設けられた電極により伝搬光に損失が発生するのを効果的に抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、本発明の一実施形態に係る光変調器の構成を示す図である。

[図2]図2は、図1に示す光変調器に用いられる光変調素子の構成を示す図である。

[図3]図3は、図2に示す光変調素子の断面矢視図である。

[図4]図4は、電極の下地層に種々の金属を用いた場合の、光吸収損失のシミュレーション結果を示す図である。

[図5]図5は、電極の下地層に種々の金属を用いた場合の、基板に対する電極の固着強度の評価結果を示す図である。

[図6]図6は、基板上にNbの下地層を含む電極を構成した場合の、電極構成部分の断面における組成分析の結果を示す図である。

[図7]図7は、本発明に係る光変調素子の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0013] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下に示す実施形態に係る光導波路素子は、L N基板を用いて構成される光変調素子であるが、本発明に係る光導波路素子は、これには限られない。本発明は、L N基板以外の基板を用いる光導波路素子や、光変調以外の機能を有する光導波路素子にも、同様に適用することができる。
- [0014] 図1は、本発明の一実施形態に係る光導波路素子である光変調素子、および光変調器の構成を示す図である。本実施形態では、光導波路素子はマッハツェンダ光導波路を用いて光変調を行う光変調素子102である。
- [0015] 光変調器100は、筐体104の内部に光変調素子102を収容する。なお、筐体104は、最終的にはその開口部に板体であるカバー（不図示）が固定されて、その内部が気密封止される。
- [0016] 光変調器100は、筐体104内に光を入力するための入力光ファイバ106と、光変調素子102により変調された光を筐体104の外部へ導く出力光ファイバ108と、を有する。
- [0017] 光変調器100は、また、光変調素子102に光変調動作を行わせるための高周波電気信号を外部から受信するためのコネクタ110と、当該コネクタ110が受信した高周波電気信号を光変調素子102の電極（例えば、信号用電極）の一端へと中継するための中継基板112を備える。また、光変調器100は、光変調素子102の電極の他端に接続される、所定のインピーダンスを有する終端器114を備える。ここで、光変調素子102の電極と、中継基板112及び終端器114と、の間は、例えば金属ワイヤ等のボンディングにより電氣的に接続される。
- [0018] 図2は、図1に示す光変調器100の筐体104に収容される光導波路素子である光変調素子102の構成を示す図である。光変調素子102は、基板220上に形成された光導波路224で構成されている。基板220は、例えば、20 μ m以下（例えば2 μ m）の厚さに加工され薄膜化された、電気光学効果を有するXカットのL N基板である。

[0019] 光導波路は、薄膜化された基板 220 の表面に形成された、帯状に延在する凸部で構成された凸状光導波路（例えば、リブ型光導波路又はリッジ型光導波路）である。ここで、LN 基板は、応力が加わると光弾性効果により屈折率が局所的に変化し得るため、基板全体の機械強度を補強すべく、一般的には接着層 350（後述）を介してガラス等の支持板 222 に接着されている。

[0020] 光導波路 224 は、例えばマッハツェンダ光導波路であり、2つの分岐部と、互いに並行に延在する2本の並行導波路 226 a、226 b とを含む。基板 220 上には、また、並行導波路 226 a、226 b の屈折率を変化させて当該並行導波路 226 a、226 b を伝搬する光波を制御する電極 230 a、230 b、230 c が設けられている。以下、電極 230 a、230 b、230 c を総称して電極 230 ともいう。

[0021] 電極 230 は、従来技術に従い、例えば、所定のインピーダンスを有するコプレーナ伝送線路を構成している。具体的には、電極 230 a は、中心電極であり、基板 220 の面内において並行導波路 226 a、226 b に沿うように、これら並行導波路の間に挟まれる位置に形成されている。また、電極 230 b および 230 c は、接地電極であり、それぞれ、並行導波路 226 a 及び 226 b を挟んで電極 230 a と対向する位置に、これら並行導波路に沿って形成されている。

[0022] 電極 230 は、基板 220 の図示右下の末端が終端器 114 で終端されていることにより、コネクタ 110 を介して基板 220 の図示左下の末端から入力される高周波信号を、図示左方から右方へ進行波として伝搬させる。これにより、電極 230 は、並行導波路 226 a、226 b を図示左方から右方へ伝搬する光波を制御する信号線路を構成する。

[0023] 図 3 は、図 2 に示す光変調素子 102 の I-I' 断面矢視図である。基板 220 は、接着層 350 を介して、例えばガラスである支持板 222 に接着されている。凸状光導波路である並行導波路 226 a は、基板 220 に形成された凸部 300 により構成されている。基板 220 の面から測った

凸部300の高さ t_1 は、 $10\mu\text{m}$ 以下（例えば $1\mu\text{m}$ ）である。

[0024] 基板220上には、並行導波路226aを挟んで電極230a及び230bが配されている。電極230aおよび電極230bは、共に、基板220上に高さ t_2 で形成されている。この高さ t_2 は、電極230が所定のインピーダンスを持つように、及び電極230を伝搬する高周波電気信号の進行波が所定範囲内の損失で且つ所定の速度で伝搬するように、設定される。

[0025] 電極230a及び電極230bのうち、いずれか並行導波路226aに近い方の電極（本実施形態では電極230a）と、並行導波路226aとの間隔 w_2 は、例えば w_1 の0.5倍以上2倍以下（すなわち、 $0.5w_1 \leq w_2 \leq 2w_1$ ）である。なお、当然ながら、電極230aと電極230bとが並行導波路226aを中心として対象に構成されている場合には、電極230a及び電極230bと、並行導波路226aと、の間のそれぞれの間隔は、互いに同じ間隔 w_2 となる。

[0026] 電極230a及び電極230bは、互いに同様の構成を有しており、それぞれ、上部層302a及び302bと、下地層304a及び304bと、により構成されている。ここで、図3には、電極230cは示されていないが、電極230cも、電極230a及び電極230bと同様の上部層及び下地層で構成されているものと理解されたい。

[0027] 以下、上部層302a、302b及び図示しない電極230cの上部層を総称して上部層302ともいい、下地層304a、304b及び図示しない電極230cの下地層を総称して下地層304ともいうものとする。すなわち、電極230は、上部層302と、下地層304と、で構成されている。

[0028] 上部層302は、従来技術と同様に、例えばAu（金）で構成される。上部層302を構成するAuは、基板220上に直接形成した場合には基板220に対して実用上十分な固着強度を持たないことから、下地層304を介して基板220上に形成される。

[0029] 従来、基板との固着強度を確保するために設けられる下地層は、一般的にはTi（チタン）で構成される。本発明の発明者は、凸状光導波路の近傍に

電極が設けられる場合、その電極の下地層を構成する金属により、凸状光導波路を伝搬する光が吸収されることにより、凸状光導波路の伝搬光に損失（光吸収損失）が発生することを見出した。

[0030] そして、本発明の発明者は、このような光吸収損失の原因として、下地層の金属の光吸収スペクトルにおいて光変調素子の動作光波長（例えば、光通信に用いられる光波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 及び又は $1.3\ \mu\text{m}$ ）が光吸収域に存在すること、及び凸状光導波路を伝搬する伝搬光のモードフィールドの一部が凸状導波路近傍の基板部分へ広がっていることによるものとの知見を得た。

[0031] 下地層の厚さは、また、厚いほど大きな光吸収損失を生じ得る。従い、下地層は、固着強度が良好であって動作光波長を光吸収域に含まない金属で構成され、且つ光吸収損失を一定レベル以下に抑制し得る厚さで形成されることが必要である。

[0032] 本発明の発明者は、下地層の素材および厚さについての検討を重ね、基板に対する固着強度を実用水準に維持しつつ上記のような光吸収損失を抑制する解決策として、下地層用の金属として従来用いられていた Ti に代えて Nb （ニオブ）を用いることが有効であるとの知見を得た。

[0033] 上記知見に従い、本実施形態では、特に、下地層 304 が、膜厚 t_3 の Nb で構成されている。基板 220 上における下地層および上部層の形成は、例えば電子ビーム蒸着（ EB 蒸着）により行われ得る。

[0034] 図4は、種々の金属を下地層 304 とした場合の、下地層 304 の厚さに対する光吸収損失増加量のシミュレーション結果の一部である。図4には、下地層 304 を用いない場合（ Au （上部層 302 ）単膜の場合）に加えて、下地層 304 として Ti 、 Al （アルミニウム）、及び Nb を用いた場合の計算結果が示されている。図4において、横軸は下地層 304 の厚さ t_3 、縦軸は並行導波路 $226a$ の単位長さ（ $1\ \text{cm}$ ）を伝搬する際の光吸収損失量である。シミュレーションに用いたモデルは、図3に示す構成と同様であり、 $w_1 = 0.9\ \mu\text{m}$ 、 $w_2 = 0.55\ \mu\text{m}$ 、 $t_1 = 0.4\ \mu\text{m}$ 、 $t_2 = 1.0\ \mu\text{m}$ 、 $t_4 = 0.6\ \mu\text{m}$ 、 $\theta = 65^\circ$ であって、上部層 302 として

Au、動作光波長として $1.55\mu\text{m}$ を仮定した。ここで、 t_4 は、基板220の裏面から測った凸部300の高さであり、 θ は、基板220の面に対する凸部300の側面の立ち上がり角度である。また、光吸収損失の算出に際し、Ti、Al、及びNbの光吸収スペクトルから得られる各金属の動作波長 $1.55\mu\text{m}$ での光吸収量を用いた。

[0035] ライン400で示すAu単膜の（下地層が存在しない）場合の光吸収損失 α_0 は、上記構成におけるバックグラウンドとしての光吸収損失であり、この基準ラインからの光吸収損失の増加分として、下地層304における光吸収損失を評価し得る。

[0036] ライン402、404、及び406は、それぞれ、下地層304を構成する金属をTi、Al、及びNbで構成した場合の光吸収損失を示している。これらの金属においては、ライン402で示すTiが最も光吸収損失が大きく、その膜厚と共に光吸収損失が大きく増加していく。

[0037] 一方、動作波長を光吸収域に含まないAl及びNbを下地層304とした場合を示すライン404、406は、Tiの場合（ライン402）に比べて光吸収損失が大幅に軽減されることが判る。図4に示す評価結果の範囲では、下地層304がAlの場合（ライン404）において最も光吸収損失が小さく、且つ下地層の厚さに対して光吸収損失はほぼ一定である。しかしながら、Alは、一般的には基板への固着強度は低いことが知られている。

[0038] 図5は、種々の金属を下地層とした場合の、LN基板に対する電極の固着強度を評価した結果を示す表である。この評価において、上部層は、厚さ 100nm のAuとした。固着強度の評価は、日本工業規格JIS K 5600-5-6:1999に従った。すなわち、LN基板の基板面全体に電極の層を形成した後、カッターを用いて当該電極に切れ目を入れ、LN基板平面において10個×10個（合計100個）の同じサイズの矩形試料を構成する。次に、上記規格で指定されている粘着性を持った粘着テープを上記100個の試料上に張り付け、当該テープをLN基板から剥がしたときに、LN基板上に残った試料の数により、固着強度を評価した。なお、下地層及び

上部層は、E B蒸着を用いてL N基板上に形成した。

[0039] 図5に示す試料O 1は、A u単膜（下地層なし、上部層のみ）の試料であり、付着率は0%である。試料O 2ないしO 4は、下地層として従来のT iを用いた試料であり、下地層の厚さ1 μ m以上において付着率100%である。これに対し、下地層としてA lを用いた試料O 5ないしO 7では、いずれの厚さでも付着率は100%を下回り、実用に耐え得るレベルの固着強度は得られない。

[0040] 一方、下地層としてN bを用いた試料O 8－11では、厚さ1 μ m以上で付着率は100%であり、実用上十分な固着強度を得られることが判る。

[0041] 図6は、L N基板上にN bの下地層とA uの上部層とを形成した試料における、これら電極を形成した部分の断面組成分析の結果である。図5における評価と同様に、下地層及び上部層は、E B蒸着を用いて形成されている。図6の横軸は位置、縦軸は組成比（原子パーセント）である。また、図6において、ライン610、612、及び614は、それぞれ、酸素、N b、及びA uの組成比の位置変化を示している。

[0042] 図6において、L N基板と下地層との界面600の近傍では、L N基板の酸素は減少し、下地層ではN bに加えて酸素が存在する。一方で、下地層と上部層との界面602では、下地層にはA uが存在し、上部層にはN bが存在する。このことから、L N基板とN bの下地層との間の固着力は、酸素を介したL NとN bとの結合によるものであり、N bの下地層とA uの上部層との間の固着力は、N bとA uの合金化による結合によるものと考えられる。

[0043] 図6において、N bの下地層における、酸素に対するN bの元素比率N b/Oは、1.2である。N b酸化物は、N bO、N bO₂等の種々の形態をとり得ることを考慮すると、実質的には、N bの下地層中における元素比率N b/Oは、1.0以上であればよく、1.2以上であれば好ましいものと考えられる。

[0044] なお、N bの下地層において界面602の近傍にまで酸素が存在するのは

、L N基板からの酸素が浸透したものか、あるいは、環境雰囲気中に存在する酸素が下地層に浸透したものと考えられる。

[0045] 図3を参照し、本実施形態では、従い、下地層304はNbで構成されており、下地層304における、酸素に対するNbの元素比率は1.2である。

[0046] また、図4のライン406及び400より、Nbで構成される下地層の厚さは、30nm以下であることが望ましい。Nbの下地層の厚さがこの範囲であれば、光吸収損失を、Au単膜での値 α_0 に対し2倍の $2\alpha_0$ 以下、または従来のTiを用いた下地層の場合の値、約 $6\alpha_0$ に対し、 $1/3$ 以下の値に抑制することができる。本実施形態では、 $w_2 = 2.0\mu\text{m}$ であり、Nbで構成される下地層304の厚さ t_3 は、例えば10nmである。このときの、並行導波路226aにおける光吸収損失は、 $6.0\text{dB}/\text{cm}$ である。

[0047] 上記の構成を有する光変調素子102は、凸状光導波路である並行導波路226aの光波を制御する電極230の下地層がNbで構成されているため、基板220に対する電極230の固着強度を実用に耐え得る水準に維持しつつ、従来のTiを下地層として用いる光導波路素子に比べて、並行導波路226aにおける光吸収損失を $1/3$ 以下まで効果的に抑制することができる。

[0048] なお、本発明は上記実施形態およびその変形例の構成に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能である。

[0049] 例えば、上述の実施形態では、基板220はL N基板であるものとしたが、基板220の材料はL Nには限られない。Nbで構成される下地層304が形成される基板220は、その組成に酸素を含む材料、例えばタンタル酸リチウム(LiTaO_3)で構成されていてもよい。あるいは、下地層304が、基板220上に形成された酸化物の被膜、例えば SiO_2 から成るバッファ層の上に形成される場合には、基板220は、InP等の半導体や、いわゆるシリコン・フォトリソグラフィデバイスに用いられるSi基板であってもよ

い。

[0050] また、上述の実施形態では、電極 230 の下地層 304 及び上部層 302 は E B 蒸着で形成されるものとしたが、電極 230 の形成手段は E B 蒸着には限られない。例えば、電極 230 の下地層 304 及び上部層 302 は、E B 蒸着以外の蒸着法またはスパッタリング法等で形成されてもよい。

[0051] また、本実施形態では、光変調素子 102 として、一对の並行導波路 226 a、226 b を含む単一のマッハツェンダ光導波路を構成する光導波路 224 により光変調動作が行われる光変調素子を示したが、電極 230 に一例として示す電極の構成は、単一のマッハツェンダ光導波路で構成される光変調素子には限られない。図 3 に示す上述した電極 230 と同様の下地層 304 を有する電極は、例えば、図 7 に示すような、いわゆるネスト型マッハツェンダ光導波路を 2 つ用いて構成される、D P-Q P S K 変調を行う光変調素子 702 にも同様に用いることができる。このような D P-Q P S K 変調を行う光変調素子においては、更なる小型化、広帯域化、省電力化が求められる一方で、基板 720 上の並行導波路や電極の設置面積に制限により、導波路と電極との間隔が更に狭くなることから光吸収損失の課題がより顕在化する。

[0052] 光変調素子 702 では、例えば、基板 220 と同様の基板 720 上に形成された凸状光導波路である並行導波路 726 a、726 b、726 c、726 d（図示破線）に沿ってそれぞれ延在する電極 730 a、730 b、730 c、730 d を、図 3 に示す電極 230 と同様の上部層 302 及び下地層 304 により構成するものとすることができる。これにより、このような D P-Q P S K 変調を行う光変調素子においても、並行導波路 726 a 等における光吸収損失を低減して、良好な変調特性を得ることができる。

[0053] 以上、説明したように、本実施形態に示す光導波路素子である光変調素子 102 は、光導波路 224 が形成された基板 220 と、基板 220 の上に形成された、光導波路 224 を伝搬する光波を制御する電極 230 と、を有する。ここで、光導波路 224 は、基板 220 上に延在する凸部（例えば、凸

部 300) により構成される。そして、電極 230 は、基板 220 との間に Nb で構成される下地層 304 と、下地層 304 の上に形成された上部層 302 と、で構成されている。

[0054] この構成によれば、電極 230 の下地層として Nb を用いることにより、凸状光導波路である光導波路 224 (例えば並行導波路 226a) において、電極 230 の存在に起因する光吸収損失を効果的に低減することができる。

[0055] また、下地層 304 は、30nm 以下の厚さである。この構成によれば、電極 230 の存在に起因して光導波路 224 に発生する光吸収損失を、従来の Ti の下地層を用いる構成に比べて 1/3 に低減することができる。

[0056] また、下地層 304 は、酸素原子を含む基板 220 上に形成されるか、または基板 220 上に形成された酸化物の膜の上に形成される。この構成によれば、Nb で構成される下地層 304 と LN 等により構成される基板との間において、実用に耐え得る水準の固着力を確保することができる。

[0057] また、下地層 304 は、酸素原子を含み、酸素に対する Nb の元素比率 Nb/O が 1.0 以上である。この構成によれば、Nb で構成される下地層 304 と LN 等により構成される基板との間において、実用に耐え得る水準の固着力をより確実に確保することができる。

[0058] また、電極 230 は、基板 220 上において、例えば光導波路 224 を構成する並行導波路 226a を挟む位置に当該並行導波路 226a に沿って配された複数の (例えば 2 つ) の電極 230a、230b で構成される。この構成によれば、並行導波路 226a を挟んで近接して配置される電極によって当該並行導波路 226a の伝搬光に光吸収損失が発生するのを効果的に抑制することができる。

[0059] また、光導波路素子である光変調素子 102 と、光変調素子 102 を収容する筐体 104 と、光変調素子 102 に光を入力する入力光ファイバ 106 と、光変調素子 102 が出力する光を筐体 104 の外部へ導く出力光ファイバ 108 と、により光変調器 100 を構成し得る。このように構成される光

変調器 100 は、電極 230 の存在に起因して発生し得る凸状光導波路（例えば並行導波路 226 a）における光吸収損失が抑制された光変調素子 102 を用いているので、良好な光変調特性及び光伝送特性を実現し得る。

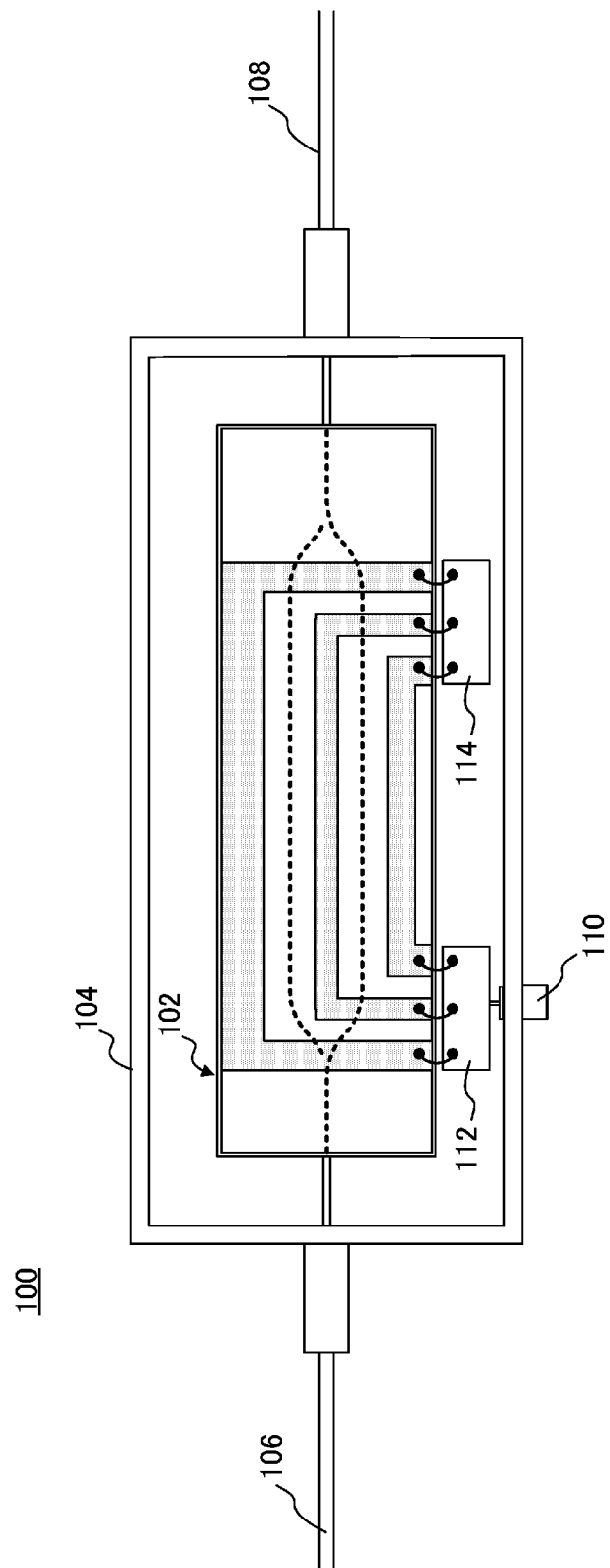
符号の説明

[0060] 100…光変調器、102、702…光変調素子、104…筐体、106…入力光ファイバ、108…出力光ファイバ、110…コネクタ、112…中継基板、114…終端器、220、720…基板、222…支持板、224、724…光導波路、226 a、226 b、726 a、726 b、726 c、726 d…並行導波路、230、230 a、230 b、230 c、730 a、730 b、730 c、730 d…電極、300…凸部、302、302 a、302 b…上部層、304、304 a、304 b…下地層、350…接着層、600、602…界面。

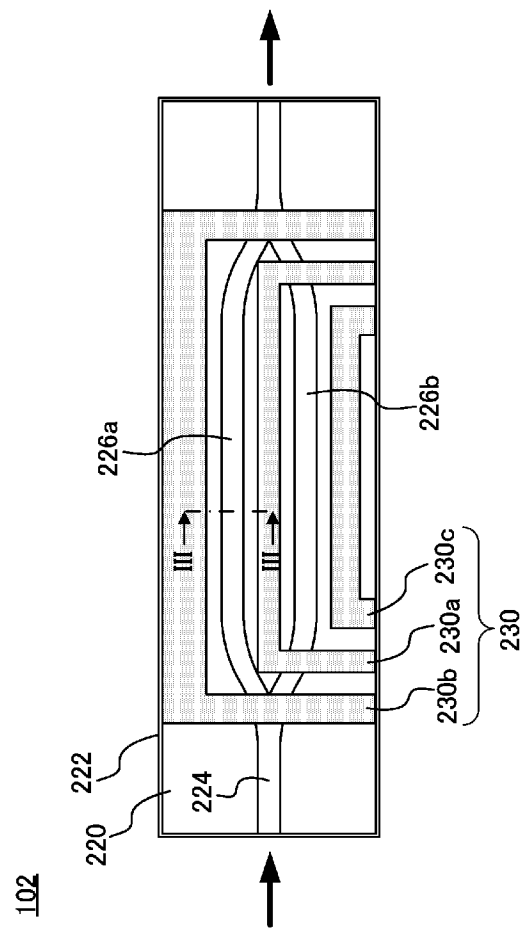
請求の範囲

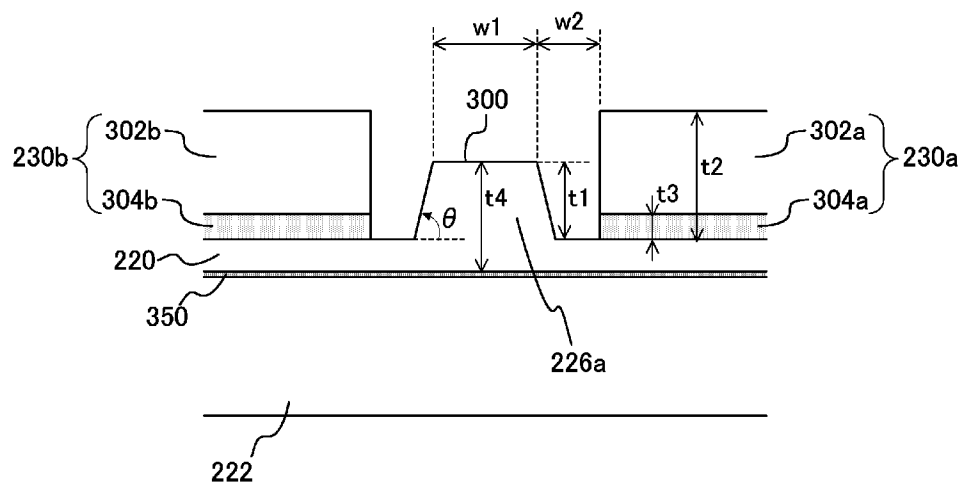
- [請求項1] 光導波路が形成された基板と、
前記基板の上に形成された、前記光導波路を伝搬する光波を制御する電極と、
を有する光導波路素子であって、
前記光導波路は、前記基板上に延在する凸部により構成され、
前記電極は、前記基板との間にNbで構成される下地層と、下地層の上に形成された上部層と、で構成されている、
光導波路素子。
- [請求項2] 前記下地層は、30nm以下の厚さである、
請求項1に記載の光導波路素子。
- [請求項3] 前記下地層は、酸素原子を含む前記基板上に形成されるか、または前記基板上に形成された酸化物の膜の上に形成される、
請求項1または2に記載の光導波路素子。
- [請求項4] 前記下地層は、酸素原子を含み、酸素に対するNbの元素比率Nb/Oが1.0以上である、
請求項1ないし3のいずれか一項に記載の光導波路素子。
- [請求項5] 前記電極は、前記基板上において、前記光導波路を挟む位置に当該光導波路に沿って配された複数の電極で構成される、
請求項1ないし3のいずれか一項に記載の光導波路素子。
- [請求項6] 光の変調を行う光変調素子である請求項1ないし5のいずれか一項に記載の光導波路素子と、
前記光導波路素子を収容する筐体と、
前記光導波路素子に光を入力する光ファイバと、
前記光導波路素子が出力する光を前記筐体の外部へ導く光ファイバと、
を備える光変調器。

[図1]

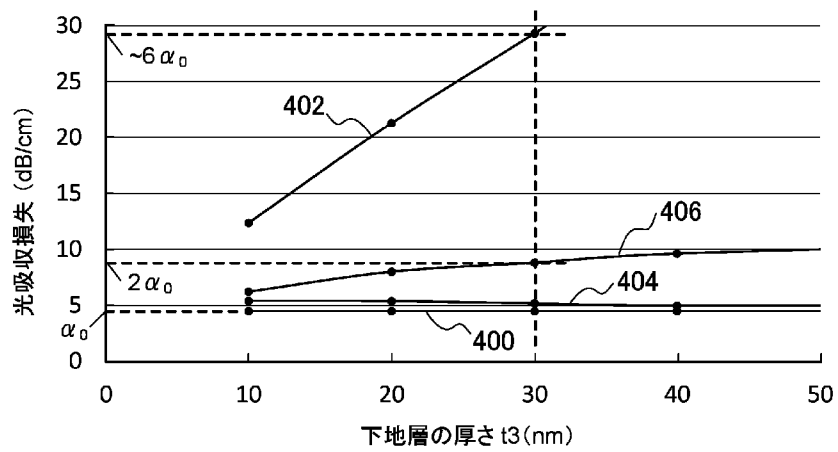


[図2]





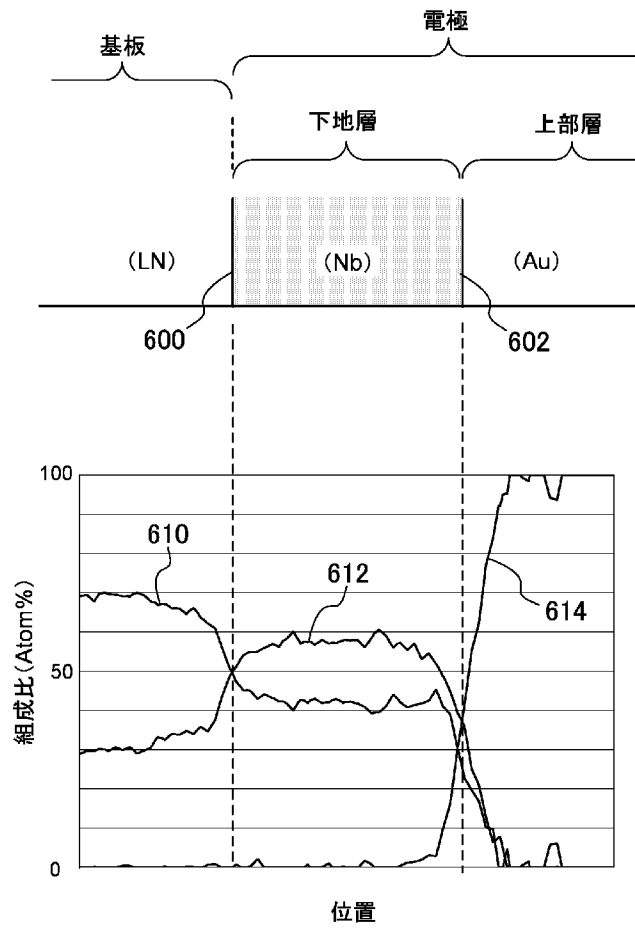
[図4]



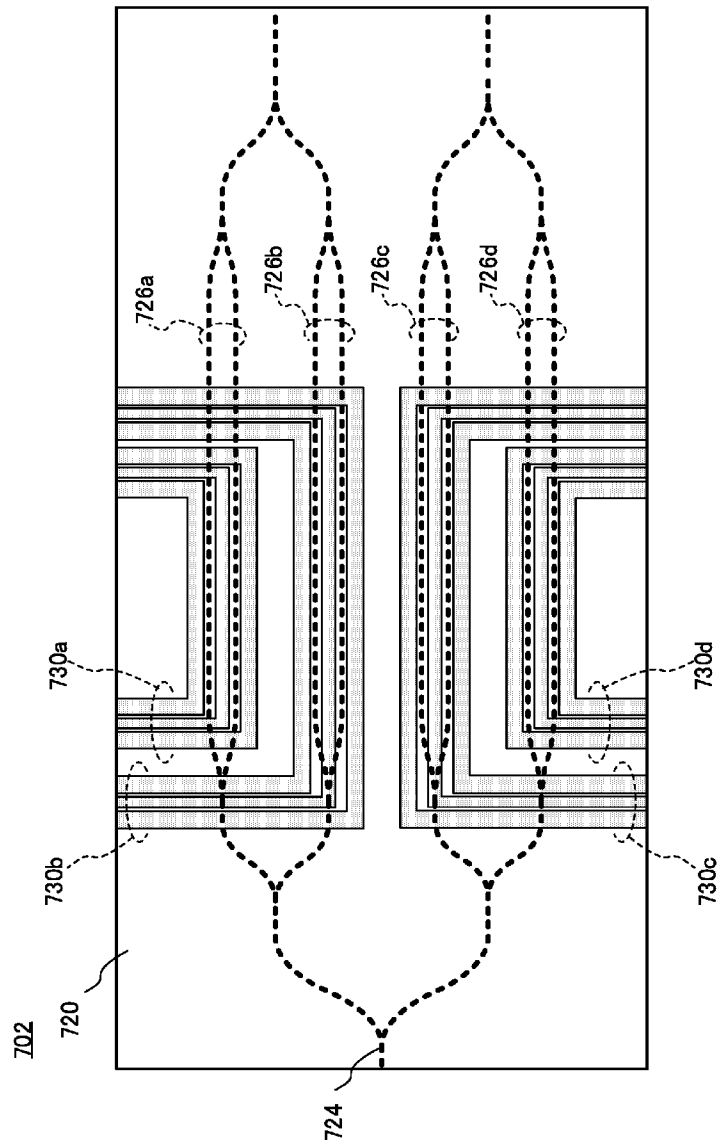
[図5]

	試料01	試料02	試料03	試料04	試料05	試料06	試料07	試料08	試料09	試料10	試料11
下地層	なし (Au単膜)	Ti	Ti	Ti	Al	Al	Al	Nb	Nb	Nb	Nb
下地層厚さ	—	1	5	10	10	20	100	1	5	10	20
付着率 (%)	0	100	100	100	97	97	36	100	100	100	100

[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/035616

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02F 1/035**(2006.01)i

FI: G02F1/035

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; G02B6/12

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2019/155679 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 15 August 2019 (2019-08-15) paragraph [0027]	1-6
A	WO 2019/224908 A1 (NGK INSULATORS, LIMITED) 28 November 2019 (2019-11-28) paragraphs [0075]-[0077], fig. 6-7	1-6
A	JP 10-104559 A (KYOCERA CORPORATION) 24 April 1998 (1998-04-24) paragraph [0023]	1-6
A	US 2012/0099812 A1 (JDS UNIPHASE CORPORATION) 26 April 2012 (2012-04-26) paragraph [0020]	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 November 2021

Date of mailing of the international search report

14 December 2021

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/035616

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2019/155679	A1	15 August 2019	US 2020/0387017 A1 paragraph [0036]	
WO	2019/224908	A1	28 November 2019	US 2021/0072567 A1 paragraphs [0076]-[0078], fig. 6-7 EP 3798718 A1	
JP	10-104559	A	24 April 1998	(Family: none)	
US	2012/0099812	A1	26 April 2012	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/035(2006.01)i FI: G02F1/035														
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）） G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; G02B6/12 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021年													
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	WO 2019/155679 A1（三菱電機株式会社）15.08.2019（2019-08-15） 段落[0027]	1-6												
A	WO 2019/224908 A1（日本碍子株式会社）28.11.2019（2019-11-28） 段落[0075]-[0077], 図6-7	1-6												
A	JP 10-104559 A（京セラ株式会社）24.04.1998（1998-04-24） 段落[0023]	1-6												
A	US 2012/0099812 A1（JDS UNIPHASE CORPORATION）26.04.2012（2012-04-26） 段落[0020]	1-6												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 25. 11. 2021	国際調査報告の発送日 14. 12. 2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 堀部 修平 2L 9215 電話番号 03-3581-1101 内線 3295													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/035616

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2019/155679	A1	15.08.2019	US 2020/0387017 A1 段落[0036]	
WO	2019/224908	A1	28.11.2019	US 2021/0072567 A1 段落[0076]-[0078], 図6-7 EP 3798718 A1	
JP	10-104559	A	24.04.1998	(ファミリーなし)	
US	2012/0099812	A1	26.04.2012	(ファミリーなし)	