



(51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/043689

(22) 国際出願日: 2022年11月28日(28.11.2022)

(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 2022-042073 2022年3月17日(17.03.2022) JP

(71) 出願人: 株式会社村田製作所
(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/
JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1
丁目 1 0 番 1 号 Kyoto (JP).

(72) 発明者: ▲浜 ▼村 聡希(HAMAMURA, Satoki);
〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1
0 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
會田 康弘(AIDA, Yasuhiro); 〒6178555 京都
府長岡京市東神足 1 丁目 1 0 番 1 号 株式
会社村田製作所内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: アセンド弁理士法人(ASCEND IP LAW
FIRM); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島
一丁目 5 番 1 7 号 Osaka (JP).

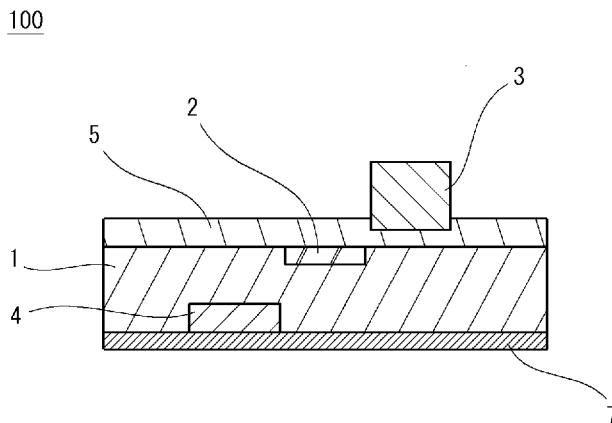
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,
KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 光変調器

FIG. 1



(57) Abstract: An optical modulator (100) comprises an op-
tical waveguide (2), a first electrode (3), a second electrode
(4), and a low-permittivity layer (5). The optical waveguide
(2) is formed from a material having an electro-optic effect.
The first electrode (3) and the second electrode (4) form a
potential difference with each other. In a sectional view per-
pendicular to the direction in which the optical waveguide
(2) extends, the first electrode (3) is provided on one side in
the width direction of the optical waveguide (2) and on one
side in the thickness direction of the optical waveguide (2),
the second electrode (4) is provided on the other side in the
width direction of the optical waveguide (2) and on the other
side in the thickness direction of the optical waveguide (2),
the low-permittivity layer (5) is interposed between the first
electrode (3) and the optical waveguide (2), and a portion of
the first electrode (3) closed to the optical waveguide (2) is
embedded in the low-permittivity layer (5).

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：光変調器（100）は、光導波路（2）と、第1電極（3）と、第2電極（4）と、低誘電率層（5）と、を備える。光導波路（2）は、電気光学効果を有する材料からなる。第1電極（3）及び第2電極（4）は、互いに電位差を形成する。光導波路（2）の延びる方向に垂直な断面視において、第1電極（3）は、光導波路（2）の幅方向の一方側、且つ光導波路（2）の厚み方向の一方側に設けられ、第2電極（4）は、光導波路（2）の幅方向の他方側、且つ光導波路（2）の厚み方向の他方側に設けられ、第1電極（3）と光導波路（2）との間に低誘電率層（5）が介在し、第1電極（3）のうちで光導波路（2）に近い部分が低誘電率層（5）に埋設されている。

明 細 書

発明の名称： 光変調器

技術分野

[0001] 本開示は、光変調器に関する。

背景技術

[0002] モバイル端末やクラウドの普及により、インターネットの通信量が著しく増加している。このため、光通信の需要が拡大している。光通信では、光信号と電気信号とを相互変換するために、光トランシーバが必要とされる。光トランシーバは、主要部品として、光変調器を備える。光変調器は、電気信号を光信号に変換する役割を担う。

[0003] 従来の光変調器は、例えば、特開 2 0 0 8 - 2 5 0 0 8 0 号公報（特許文献 1）に開示される。特許文献 1 の光変調器は、電気光学効果を有する薄板と、薄板に形成された光導波路と、光導波路を通過する光を制御するための制御電極と、を有する。制御電極は、第 1 電極と第 2 電極とからなり、第 1 電極と第 2 電極は、薄板を挟むように配置されている。第 1 電極は、少なくとも信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極を有する。第 2 電極は、少なくとも接地電極を有する。薄板の下方には、少なくとも第 1 電極の信号電極の幅よりも大きな幅を有する低屈折率層が形成されている。また、少なくとも薄板と第 1 電極との間にバッファ層が形成されている場合もある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2 0 0 8 - 2 5 0 0 8 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献 1 の光変調器では、光導波路の延びる方向に垂直な断面において、第 1 電極の信号電極が矩形状を有し、この信号電極が光導波路と当該光導

波路の厚み方向に整列している。この場合、信号電極の底面全体が光導波路に対向することになるため、光導波路から漏れた光が信号電極に吸収されやすく、光損失が発生する。また、特許文献1の光変調器では、信号電極を含む第1電極と薄板との間にバッファ層が形成されている。バッファ層は、実効屈折率の調整に寄与している。バッファ層が存在しない場合、電気信号の感じる実効屈折率と光波の感じる実効屈折率との差が小さくならず、変調周波数を高めることができない。

[0006] 本開示は、このような課題に鑑みなされたものである。本開示の目的は、光損失を抑制し、且つ変調周波数を高めることができる光変調器を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示に係る光変調器は、電気光学効果を有する材料からなる光導波路と、光導波路を通過する光を制御するための制御電極と、誘電率が光導波路よりも低い低誘電率層と、を備える。制御電極は、互いに電位差を形成する第1電極及び第2電極を含む。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、第1電極は、光導波路の幅方向の一方側、且つ光導波路の厚み方向の一方側に設けられ、第2電極は、光導波路の幅方向の他方側、且つ光導波路の厚み方向の他方側に設けられている。この断面視において、第1電極と光導波路との間に低誘電率層が介在し、第1電極のうちで光導波路に近い部分が低誘電率層に埋設されている。

発明の効果

[0008] 本開示に係る光変調器によれば、光損失を抑制し、且つ変調周波数を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、第1実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図2]図2は、第1実施形態に係る光変調器における基板の性質を説明するための模式図である。

[図3]図3は、第2実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図4]図4は、第3実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図5]図5は、第4実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図6]図6は、第5実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図7]図7は、第6実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図8]図8は、第7実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図9]図9は、第8実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図10]図10は、第9実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

[図11]図11は、第10実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

。

[図12]図12は、第11実施形態に係る光変調器の断面を示す模式図である。

。

[図13A]図13Aは、第1電極及び第2電極が引き延ばされていないときの電界の強さを示す模式図である。

[図13B]図13Bは、第1電極のみが引き延ばされたときの電界の強さを示す模式図である。

[図13C]図13Cは、第1電極及び第2電極の両方が引き延ばされたときの電界の強さを示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の実施形態について説明する。なお、以下の説明では、本開示の実施形態について例を挙げて説明するが、本開示は以下で説明する例に限定されない。以下の説明において特定の数値や特定の材料を例示する場合があるが、本開示はそれらの例示に限定されない。

[0011] 本実施形態に係る光変調器は、電気光学効果を有する材料からなる光導波路と、光導波路を通過する光を制御するための制御電極と、誘電率が光導波路よりも低い低誘電率層と、を備える。制御電極は、互いに電位差を形成する第1電極及び第2電極を含む。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、第1電極は、光導波路の幅方向の一方側、且つ光導波路の厚み方向の一方側に設けられ、第2電極は、光導波路の幅方向の他方側、且つ光導波路

の厚み方向の他方側に設けられている。この断面視において、第1電極と光導波路との間に低誘電率層が介在し、第1電極のうちで光導波路に近い部分が低誘電率層に埋設されている（第1の構成）。

[0012] 第1の構成の光変調器では、光導波路に対して、第1電極は、光導波路の幅方向の両側のうちの一方の側にずれていて、第2電極は、光導波路の幅方向の両側のうちの他方の側にずれている。また、光導波路に対して、第1電極は、光導波路の厚み方向の両側のうちの一方の側にずれていて、第2電極は、光導波路の厚み方向の両側のうちの他方の側にずれている。すなわち、光導波路の幅方向及び厚み方向に対して、第1電極、光導波路、及び第2電極がこの順で斜めに配置されている。さらに、第1電極と光導波路との間に低誘電率層が介在し、この低誘電率層に第1電極のうちで光導波路に近い部分が埋設されている。そして、第1電極は光導波路と接触していない。

[0013] 第1電極及び第2電極の位置が光導波路に対して厚み方向及び幅方向にずれていることにより、矩形状の電極が光導波路の厚み方向又は幅方向に光導波路と整列し、当該電極の一面全体が光導波路と対向している場合と比較して、第1電極及び第2電極と光導波路との対向面積が小さくなる。これにより、光導波路から漏れた光が第1電極及び第2電極に吸収されにくくなる。したがって、光損失を抑制することができる。

[0014] さらに、第1電極から光導波路に向かう電界は、低誘電率層を通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率が低下する。このとき、第1電極のうち、少なくとも光導波路に近い部分が低誘電率層に埋設されていることで、第1電極が低誘電率層上に単に載置されている場合と比較して、低誘電率層に対する第1電極の接触面積が大きくなるため、低誘電率層を通過する電界が多くなる。このため、電気信号の感じる実効屈折率を通常よりも小さくできる。通常、電気信号の感じる実効屈折率は、光波の感じる実効屈折率よりも大きい。そうすると、電気信号の感じる実効屈折率と光波の感じる実効屈折率との差が小さくなる。したがって、変調周波数を高めることができる。

- [0015] 第1の構成の光変調器において、第1電極は、角部を含んでいてもよい。この角部は、光導波路側に配置され、低誘電率層に埋設される（第2の構成）。この場合、第1電極の角部に電界が集中するため、第1電極から光導波路に向かう電界の強度を上昇させることができる。よって、第1電極と第2電極との間の光導波路に印加される電界の低下を抑制することができる。
- [0016] 第1の構成又は第2の構成の光変調器は、例えば、下記の構成を備える。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、光導波路は、幅方向に延びる第1辺と、第1辺と平行に配置され、幅方向に延びる第2辺と、を含む。この断面視において、第1電極は、第1辺側に設けられている（第3の構成）。
- [0017] 第1の構成又は第2の構成の光変調器は、下記の構成を備えてもよい。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、光導波路は、幅方向に延びる長軸としての底辺を含む半楕円形状を有する。この断面視において、第1電極は、底辺側に設けられている（第4の構成）。
- [0018] 上記の光変調器は、さらに下記の構成を備えてもよい。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、第1電極は、矩形状を有しており、第1電極は、低誘電率層の光導波路とは反対側の面に埋設されている（第5の構成）。
- [0019] 上記の光変調器は、さらに下記の構成を備えてもよい。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、第1電極は、光導波路の厚み方向の中央よりも上記の一方側のみに設けられ、第2電極は、光導波路の厚み方向の中央よりも上記の他方側のみに設けられている（第6の構成）。
- [0020] 上記した光変調器は、好ましくは、下記の構成を備える。第2電極と光導波路との間に、補助低誘電率層が設けられている。補助低誘電率層は、誘電率が光導波路よりも低い（第7の構成）。
- [0021] 第7の構成の光変調器では、第2電極と光導波路との間に、補助低誘電率層が設けられているため、電界が補助低誘電率層をも通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率がより低下する。このため、電気信号の感じ

る実効屈折率と光波の感じる実効屈折率との差がより小さくなる。したがって、変調周波数をより高めることができる。

[0022] 上記の光変調器は、好ましくは、下記の構成を備える。光導波路の材料は、 LiNbO_3 である（第8の構成）。 LiNbO_3 （ニオブ酸リチウム）は、特に電気光学効果が高い。本明細書において、 LiNbO_3 を LN と記す場合がある。光導波路の材料は、電気光学効果を有するものであれば特に限定されない。例えば、光導波路の材料は、 LiTaO_3 （タンタル酸リチウム）であってもよいし、 PLZT （ジルコン酸チタン酸鉛ランタン）、 KTN （タンタル酸ニオブ酸カリウム）、及び BaTiO_3 （チタン酸バリウム）等であってもよい。

[0023] 上記の光変調器は、好ましくは、下記の構成を備える。第1電極及び第2電極のうち、一方が光導波路から厚み方向に延伸し、他方が光導波路から幅方向に延伸している（第9の構成）。この場合、光導波路に対して電界が強くなる。

[0024] 上記の光変調器は、さらに、光導波路が設けられた基板を備えていてもよい（第10の構成）。

[0025] 第10の構成の光変調器は、下記の構成を備えてもよい。基板が光導波路と同じ材料からなり、光導波路がリッジ型である（第11の構成）。この場合、光導波路のうちで基板との境界を除く周囲を低誘電率層で覆うことが可能になる。このため、実効屈折率の調整が容易である。さらに、光導波路内に光をより閉じ込めることができる。

[0026] ただし、基板にチタン（ Ti ）を拡散させることによって、光導波路を形成することもできる。プロトン交換法によって光導波路を形成することもできる。

[0027] 第1～第9の構成のいずれか1つの光変調器は、並列に配置される2つの光変調器ユニットを備えてもよい。2つの光変調器ユニットは、それぞれ、光導波路と、制御電極と、低誘電率層とを含む（第12の構成）。

[0028] 第12の構成の光変調器は、マッハツェンダ型の光変調器を構成する。こ

の場合、位相変調と合わせて、強度変調も可能になる。これより多値変調を行うことができ、伝送容量を大きくすることができる。しかも、第12の構成の光変調器は、第1～第9の構成と同様の効果を奏する。

[0029] 第12の構成の光変調器は、下記の構成を備えてもよい。2つの光変調器ユニットのうち、一方の光変調器ユニットの第1電極は、他方の光変調器ユニットの第1電極と一体に形成されている（第13の構成）。この場合、一方の光変調器ユニットの第1電極を、他方の光変調器ユニットの第1電極と共用することができる。

[0030] 第12の構成又は第13の構成の光変調器は、下記の構成を備えてもよい。光変調器ユニットの各々は、さらに、光導波路が設けられた基板を含む。2つの光変調器ユニットのうち、一方の光変調器ユニットの基板は、他方の光変調器ユニットの基板と並列に配置される（第14の構成）。

[0031] 第14の構成の光変調器は、下記の構成を備えてもよい。光変調器ユニットの各々において、基板が光導波路と同じ材料からなり、光導波路がリッジ型である（第15の構成）。第15の構成の光変調器は、第11の構成に対応する。このため、第11の構成と同様に、実効屈折率の調整が容易であり、さらに、光導波路内に光をより閉じ込めることができる。

[0032] 第14の構成又は第15の構成の光変調器は、下記の構成を備えてもよい。2つの光変調器ユニットのうち、一方の光変調器ユニットの基板は、他方の光変調器ユニットの基板と一体であり、一方の光変調器ユニットの光導波路と、他方の光変調器ユニットの光導波路とは、相互に自発分極の向きが反転している。一方の光変調器ユニットの第1電極及び他方の光変調器ユニットの第1電極には、相互に同じ位相の電圧が印加される（第16の構成）。

[0033] 第16の構成の光変調器では、一方の光変調器ユニットの基板を、他方の光変調器ユニットの基板と共用することができる。一方の光変調器ユニットの光導波路及び他方の光変調器ユニットの光導波路は、共用された基板に設けられる。このため、一方の光変調器ユニットの光導波路と他方の光変調器ユニットの光導波路との間隔を小さくすることができる。この場合、光変調

器全体の幅を狭めることができる。

[0034] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しつつ説明する。各図において同一又は相当の構成については同一符号を付し、同じ説明を繰り返さない。

[0035] <第1実施形態>

[光変調器100の構成]

図1は、第1実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。図1には、光導波路2の延びる方向に垂直な断面が示される。光導波路2の延びる方向は、光導波路2に沿う方向とも言える。本明細書において、特に断りがない限り、断面は、光導波路2又は後述する光導波路2A、2Bの延びる方向に垂直な断面を意味する。光変調器100の断面において、全体を支持する支持板7が最も下にあり、光変調器100の厚み方向は上下方向に相当し、光変調器100の幅方向は左右方向に相当する。ただし、本明細書において、上、下、左及び右は、説明の便宜上で定めたものであり、実際の光変調器100の姿勢を限定するものではない。

[0036] 図1を参照して、光変調器100は、基板1と、光導波路2と、第1電極3と、第2電極4と、低誘電率層5と、を備える。第1電極3及び第2電極4は、光導波路2を通過する光を制御するための制御電極に含まれる。

[0037] 第1電極3及び第2電極4は、互いに電位差を形成する。第1電極3は、例えば信号電極である。第2電極4は、第1電極3と電位差を形成する限り、特に限定されない。第2電極4は、例えば接地電極である。第2電極4は、第1電極3の電位とは逆位相の電圧を印加する逆信号電極であってもよい。

[0038] 第2電極4は、第1電極3よりも下の位置に配置される。基板1、光導波路2、低誘電率層5、第1電極3及び第2電極4は、支持板7によって支持される。支持板7は、最も下に配置される。

[0039] 光導波路2は、電気光学効果を有する材料からなる。光導波路2の材質は、例えばLNである。光導波路2は、基板1に形成されている。具体的には

、基板 1 の上部に、光導波路 2 が形成されている。この光導波路 2 は、基板 1 に T i を拡散させることで形成される。基板 1 のうちの T i が拡散した部分は屈折率が高くなり、光を閉じ込めることができるため、光導波路 2 として利用できる。

[0040] 光導波路 2 は、例えば、厚み（上下方向の寸法）よりも幅（左右方向の寸法）の方が大きい断面形状を有することができる。図 1 において、光導波路 2 の断面形状は、実質的に幅広の概ね矩形状である。この場合、光導波路 2 の断面形状は、幅方向に延びる第 1 辺と、第 1 辺と平行に配置され、幅方向に延びる第 2 辺とを含む。光導波路 2 の断面形状は、それぞれ厚み方向に延びる第 3 辺及び第 4 辺をさらに含んでいる。図 1 に示す例において、第 1 辺及び第 2 辺は一对の長辺であり、第 3 辺及び第 4 辺是一对の短辺である。光導波路 2 の断面形状が幅広の矩形状の場合、一对の長辺のうち的一方の長辺（上側の第 1 辺）が基板 1 の表面上にあり、他方の長辺（下側の第 2 辺）が基板 1 の内部にある。

[0041] 光導波路 2 の断面において、長辺である第 1 辺及び第 2 辺は、短辺である第 3 辺及び第 4 辺によって接続されている。図 1 に示す例において、光導波路 2 の第 3 辺及び第 4 辺は、光変調器 100 の断面視で直線状であり、光導波路 2 の厚み方向と平行になっている。ただし、第 3 辺及び第 4 辺は、光導波路 2 の厚み方向に対して傾いていてもよいし、必ずしも直線状である必要はない。光変調器 100 の断面視で、光導波路 2 の第 3 辺及び第 4 辺は、曲線状を有していてもよいし、直線と曲線とを組み合わせた形状を有していてもよい。また、第 3 辺の長さは、第 4 辺の長さと同じであってもよいし、異なってもよい。同様に、第 1 辺の長さは、第 2 辺の長さと同じであってもよいし、異なってもよい。

[0042] 光導波路 2 の断面形状が幅広の半楕円形状である場合もある。この場合、光導波路 2 の断面形状は、幅方向に延びる長軸としての底辺と、幅方向に延びる楕円弧状の辺と、を含む。光導波路 2 の断面形状が幅広の半楕円形状の場合、底辺が基板 1 の表面上にあり、楕円弧状の辺が基板 1 の内部にある。

[0043] 基板 1 の上に、低誘電率層 5 が積層されている。このため、光導波路 2 の上に、低誘電率層 5 が積層されている。この場合、低誘電率層 5 は、光導波路 2 の上面及びその周辺の基板 1 の上面を直接覆っている。例えば、光導波路 2 の断面形状が幅広の矩形状の場合、光変調器 100 の断面において、低誘電率層 5 は、主に、光導波路 2 の上記の一方の長辺（上側の長辺）に沿って設けられている。光導波路 2 の断面形状が横長の半楕円形状の場合、光変調器 100 の断面において、低誘電率層 5 は、主に、光導波路 2 の上記の底辺に沿って設けられている。低誘電率層 5 の誘電率は、光導波路 2 の誘電率よりも低い。低誘電率層 5 の材質は、誘電率が光導波路 2 の誘電率よりも低い限り特に限定されない。低誘電率層 5 として、酸化物（例： Al_2O_3 、 SiO_2 、 LaAlO_3 、 LaYO_3 、 ZnO 、 HfO_2 、 MgO 、 Y_2O_3 ）が用いられる。低誘電率層 5 として、ポリマー（例：BCB（ベンゾシクロブテン）、PI（ポリイミド））が用いられてもよい。

[0044] 第 1 電極 3 は、基板 1 の上方に配置されている。第 2 電極 4 は、基板 1 の下部に配置されている。別の観点では、第 2 電極 4 は、基板 1 の下部に埋まっている。第 1 電極 3 と第 2 電極 4 は、金属材料からなり、各々の断面形状が矩形状である。例えば、光導波路 2 の断面形状が幅広の矩形状の場合、光変調器 100 の断面において、第 1 電極 3 は、光導波路 2 の上記の一方の長辺（上側の第 1 辺）に平行な一対の辺を有する。光導波路 2 の断面形状が幅広の半楕円形状の場合、光変調器 100 の断面において、第 1 電極 3 は、光導波路 2 の上記の底辺に平行な一対の辺を有する。低誘電率層 5 のうちで光導波路 2 とは反対側の面に、第 1 電極 3 が埋設されている。本実施形態のように、第 1 電極 3 の一部が低誘電率層 5 に埋設されている場合、第 1 電極 3 が位置する部分における低誘電率層 5 の厚み（上下方向の寸法）は、その他の部分における低誘電率層 5 の厚みよりも有意に小さくなっている。

[0045] 第 1 電極 3 は、例えば次のようにして低誘電率層 5 に埋設することができる。すなわち、まず、基板 1 において、光導波路 2 が形成された面上に、低誘電率層 5 を形成する。続いて、フォトリソグラフィ、エッチングによって

、低誘電率層 5 に溝を形成する。その後、その溝に対して蒸着、リフトオフを行うことで第 1 電極 3 を形成する。これにより、低誘電率層 5 に埋設された第 1 電極 3 を形成することができる。

[0046] ここで、第 1 電極 3 及び第 2 電極 4 は、光導波路 2 を光導波路 2 の厚み方向に対して斜めの方向で挟むように配置される。第 1 電極 3 は、光導波路 2 の幅方向の一方側、且つ光導波路 2 の厚み方向の一方側に設けられている。第 2 電極 4 は、光導波路 2 の幅方向の他方側、且つ光導波路 2 の厚み方向の他方側に設けられている。つまり、光導波路 2 に対して、第 1 電極 3 は、光導波路 2 の幅方向の両側のうちの一方の側（図 1 では、右）にずれていて、第 2 電極 4 は、光導波路 2 の幅方向の両側のうちの他方の側（図 1 では、左）にずれている。また、光導波路 2 に対して、第 1 電極 3 は、光導波路 2 の厚み方向の両側のうちの一方の側（図 1 では、上）にずれていて、第 2 電極 4 は、光導波路 2 の厚み方向の両側のうちの他方の側（図 1 では、下）にずれている。

[0047] 第 1 電極 3 と光導波路 2 との間に低誘電率層 5 が介在している。第 1 電極 3 の下部が低誘電率層 5 に埋設されている。つまり、第 1 電極 3 のうちで光導波路 2 に近い部分が、低誘電率層 5 に埋設されている。別の観点では、第 1 電極 3 のうち、光導波路 2 側に配置された角部が低誘電率層 5 に埋設されている。この場合、第 1 電極 3 の角部が光導波路 2 の近くに存在する。そして、第 1 電極 3 は光導波路 2 と接触していない。

[0048] 本実施形態では、光変調器 100 の断面において、第 1 電極 3 は、光導波路 2 の厚み方向の中央よりも上記の一方側のみに設けられ、第 2 電極 4 は、光導波路 2 の厚み方向の中央よりも上記の他方側のみに設けられている。例えば、光導波路 2 の断面形状が幅広の矩形状の場合、第 1 電極 3 は、その全体が光導波路 2 の厚み方向の中央よりも上記の一方の長辺（上側の長辺）側に設けられ、第 2 電極 4 は、その全体が光導波路 2 の厚み方向の中央よりも上記の他方の長辺（下側の長辺）側に設けられている。光導波路 2 の断面形状が幅広の半楕円形状の場合、第 1 電極 3 は、その全体が光導波路 2 の厚み

方向の中央よりも底辺側に設けられ、第2電極4は、その全体が光導波路2の厚み方向の中央よりも上記の楕円弧状の辺側に設けられている。

[0049] 本実施形態では、第1電極3は、左右方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がない。第2電極4も同様に、左右方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がない。また、第1電極3は、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がない。第2電極4も同様に、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がない。基板1の下に、支持板7が積層されている。

[0050] [効果]

本実施形態の光変調器100によれば、光変調器100の作動時、第1電極3から第2電極4に向かって電界が作用し、光導波路2に電界が印加される。このとき、本実施形態の光変調器100では、第1電極3及び第2電極4が光導波路2を光導波路2の厚み方向に対して斜めの方向で挟むように配置されるとともに、第1電極3のうちで光導波路2に近い部分が低誘電率層5に埋設されている。このため、以下の効果が得られる。

[0051] 本実施形態の光変調器100では、信号電極が低誘電率層に埋設されずに、一定の厚みを有する低誘電率層の表面と単に接している場合と比較して、第1電極3のうちで光導波路2に近い部分、より具体的には第1電極3の角部が、低誘電率層5に埋設されて光導波路2の近くに存在する。電界は第1電極3の角部に集中するため、第1電極3から光導波路2に向かう電界の強度は上昇する。このため、光導波路2に印加される電界は低下しない。したがって、光導波路2に印加される電界の低下を抑制することができる。

[0052] また、第1電極3と光導波路2との間に低誘電率層5が介在しているので、第1電極3は、光導波路2と接触していないし、その一部（角部）が光導波路2の近くに存在するに過ぎない。このため、矩形状断面を有する光導波路の上面が矩形状断面を有する信号電極の下面と対向配置された場合に比べて、光導波路2と第1電極3との最短の離間距離が同じであっても、本実施形態の光変調器100では、第1電極3のうち光導波路2と対向する領域が

少ない。よって、光導波路 2 から漏れた光の第 1 電極 3 への吸収は抑えられる。したがって、光損失を抑制することができる。

[0053] さらに、第 1 電極 3 から光導波路 2 に向かう電界は、低誘電率層 5 を通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率が低下する。このとき、第 1 電極 3 のうちで光導波路 2 に近い部分、より具体的には第 1 電極 3 の角部が低誘電率層 5 に埋設されていることで、電極が低誘電率層上に単に載置されている場合と比較して、第 1 電極 3 と低誘電率層 5 との接触面積が大きくなり、低誘電率層 5 を通過する電界が多くなる。このため、電気信号の感じる実効屈折率を通常よりも小さくできる。一般的な材料において、光学応答にイオン分極が含まれるため電気信号（GHz）の感じる実効屈折率は、光波（THz）の感じる実効屈折率よりも大きい。そうすると、電気信号の感じる実効屈折率と光波の感じる実効屈折率との差が小さくなる。したがって、変調周波数を高めることができる。

[0054] [基板 1 の材料のカット角]

図 2 は、第 1 実施形態に係る光変調器 100 における光導波路 2 の性質を説明するための模式図である。図 2 には、光変調器 100 の断面が示される。図 2 に示すように、第 1 電極 3 及び第 2 電極 4 は、光導波路 2 を光導波路 2 の厚み方向に対して斜めの方向で挟むように配置される。

[0055] 基板 1 に形成された光導波路 2 に電界が印加されると、電気光学効果によって屈折率が変化する。このとき、電界の向きは、第 1 電極 3 と第 2 電極 4 との互いに最も近い角部同士を結ぶ直線 L（図 2 中の太線参照）と平行であるとみなすことができる。電界の向きに対して、光導波路 2 の結晶軸（例：LN の場合、c 軸）の傾きが平行であれば、効果的に屈折率を変化させることができる。電界の傾き、すなわち電極配置の傾き θ は、下記の式（1）に基づき、第 1 電極 3 と第 2 電極 4 との最短間隔のうち、幅方向（左右方向）の成分 w 、及び厚み方向（上下方向）の成分 t により、算出することができる。

$$\theta = \arctan(t/w) \times 180/\pi \text{ となる。} \quad (1)$$

[0056] 電極配置の傾き θ が、 $0 \sim 5^\circ$ であれば、光導波路2（基板1）の素材として、一般的にXカットと呼ばれるウエハを用いてもよい。電極配置の傾き θ が、 $85 \sim 90^\circ$ であれば、光導波路2の素材（基板1）として、一般的にZカットと呼ばれるウエハを用いてもよい。

[0057] <第2実施形態>

図3は、第2実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第1実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0058] 図3を参照して、光変調器100は、さらに、補助低誘電率層6を備える。具体的には、基板1の下に、補助低誘電率層6が積層されている。補助低誘電率層6の誘電率は、低誘電率層5と同様に光導波路2の誘電率よりも低い。補助低誘電率層6の材質は、誘電率が光導波路2の誘電率よりも低い限り特に限定されない。補助低誘電率層6の材質は、低誘電率層5の材質と同じであってもよいし、異なってもよい。

[0059] 本実施形態では、支持板7は、補助低誘電率層6の下に積層されている。さらに、第2電極4は、補助低誘電率層6の内部に配置されている。つまり、第2電極4と光導波路2との間に、補助低誘電率層6が設けられている。この場合、補助低誘電率層6は、基板1の下面を直接覆っていて、光導波路2の下面を覆っている。

[0060] 本実施形態の光変調器100では、第2電極4と光導波路2との間に、補助低誘電率層6が設けられているため、電界が補助低誘電率層6をも通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率がより低下する。このため、電気信号の感じる実効屈折率と光波の感じる実効屈折率との差がより小さくなる。したがって、変調周波数をより高めることができる。

[0061] <第3実施形態>

図4は、第3実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第1実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0062] 図4を参照して、基板1は、リッジ型の光導波路2を有する。つまり、基板1は、上部に凸条を有し、この凸条が光導波路2として機能する。素材であるウエハに加工を施すことによって、基板1上に凸条が形成される。凸条は、その厚み方向及び幅方向において光を閉じ込めることができる。リッジ型の光導波路2の断面形状は、概ね矩形状である。リッジ型の光導波路2の断面形状は、厳密には台形状である場合が多い。本実施形態では、第1電極3は、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と極僅かに重なる部分がある。第2電極4も、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と極僅かに重なる部分がある。

[0063] 基板1は光導波路2と同じ材料からなる。ただし、基板1の材料は、光導波路2の材料と異なってもよい。この場合、基板1の材料は、例えばSiである。

[0064] 本実施形態の光変調器100は、第1実施形態と同様の効果を奏する。もっとも、本実施形態の場合、光導波路2がリッジ型であるため、光導波路2のうちで基板1との境界を除く周囲を低誘電率層5で覆うことが可能になる。つまり、低誘電率層5によって、光導波路2の周囲が広範囲に覆われる。このため、実効屈折率の調整が容易である。さらに、光導波路2内に光をより閉じ込めることができる。

[0065] 本実施形態の構成は、第2実施形態の光変調器100に適用してもよい。

[0066] <第4実施形態>

図5は、第4実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第3実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0067] 図5を参照して、光導波路2は、リッジ型である。本実施形態では、第1電極3は、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。光導波路2の幅方向の領域のうち、幅方向の端から全幅Wの10%以内の範囲で、第1電極3が重なってもよい。第2電極4も、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。光導波路2の幅方向の領域のうち、幅

方向の端から全幅Wの10%以内の範囲で、第2電極4が重なってもよい。

[0068] 本実施形態の光変調器100は、第3実施形態と同様に、第1実施形態と同様の効果を奏する。もっとも、本実施形態の構成は、光導波路2がTi拡散によって基板1に形成された光導波路2に適用しても構わない。

[0069] <第5実施形態>

図6は、第5実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第3実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0070] 図6を参照して、光導波路2は、リッジ型である。本実施形態では、第1電極3は、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がない。ただし、第1電極3は、左右方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。光導波路2の厚み方向の領域のうち、上端から全厚みTの10%以内の範囲で、第1電極3が重なってもよい。第2電極4も、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がない。ただし、第2電極4は、左右方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。光導波路2の厚み方向の領域のうち、下端から全厚みTの10%以内の範囲で、第2電極4が重なってもよい。

[0071] 本実施形態の光変調器100は、第3実施形態と同様に、第1実施形態と同様の効果を奏する。もっとも、本実施形態の構成は、光導波路2がTi拡散によって基板1に形成された光導波路2に適用しても構わない。

[0072] <第6実施形態>

図7は、第6実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第3実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0073] 図7を参照して、光導波路2は、リッジ型である。本実施形態では、第1電極3は、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。さらに、第1電極3は、左右方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。光導波路2の幅方向の領域のうち、幅方向の端から全幅Wの10%

以内の範囲で、第1電極3が重なってもよい。光導波路2の厚み方向の領域のうち、上端から全厚みTの10%以内の範囲で、第1電極3が重なってもよい。第1電極3と同様に、第2電極4は、上下方向に沿って見たとき、光導波路2と極僅かに重なる部分がある。さらに、第2電極4は、左右方向に沿って見たとき、光導波路2と重なる部分がある。

[0074] 本実施形態の光変調器100は、第3実施形態と同様に、第1実施形態と同様の効果を奏する。

[0075] <第7実施形態>

図8は、第7実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第3実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0076] 図8を参照して、本実施形態では、低誘電率層5及び補助低誘電率層6が一体となっている。すなわち、光変調器100の断面視において光導波路2の全周が一体の低誘電率層5及び補助低誘電率層6によって覆われている。このため、低誘電率層5を通過する電界がより多くなり、実効屈折率の調整がより容易となる。

[0077] 図8に示す例において、第1電極3は、その全体が低誘電率層5に埋まっている。第1電極3は、その一部が低誘電率層5に埋まってもよい。

[0078] <第8実施形態>

図9は、第8実施形態に係る光変調器101の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器101は、マッハツェンダ型の光変調器を構成する。本実施形態の光変調器101は、第2実施形態の構成を適用した第3実施形態の光変調器100を変形したものであり、その第3実施形態の光変調器100の各要素をそれぞれ並列に配置したものである。

[0079] 図9を参照して、本実施形態の光変調器101は、2つの光変調器ユニット100A、100Bを備える。

[0080] 一方の光変調器ユニット100Aは、基板1Aと、光導波路2Aと、第1電極3Aと、第2電極4Aと、低誘電率層5Aと、補助低誘電率層6Aと、

を備える。他方の光変調器ユニット１００Ｂは、基板１Ｂと、光導波路２Ｂと、第１電極３Ｂと、第２電極４Ｂと、低誘電率層５Ｂと、補助低誘電率層６Ｂと、を備える。光変調器ユニット１００Ａ，光変調器ユニット１００Ｂは、支持板７によって支持される。

[0081] 基板１Ａ，１Ｂは、上記の基板１に相当する。光導波路２Ａ，２Ｂは、上記の光導波路２に相当する。低誘電率層５Ａ，５Ｂは、上記の低誘電率層５に相当する。第１電極３Ａ，３Ｂは、上記の第１電極３に相当する。第２電極４Ａ，４Ｂは、上記の第２電極４に相当する。補助低誘電率層６Ａ，６Ｂは、上記の補助低誘電率層６に相当する。

[0082] 光導波路２Ａが設けられた基板１Ａは、光導波路２Ｂが設けられた基板１Ｂと並列に配置されている。つまり、光導波路２Ａと光導波路２Ｂとが相互に横並びに配置されている光導波路２Ａ，２Ｂはそれぞれ、リッジ型である。光導波路２Ａ及び光導波路２Ｂの上流において、１本の入側光導波路が光導波路２Ａ及び光導波路２Ｂに分岐している。光導波路２Ａ及び光導波路２Ｂの下流において、光導波路２Ａ及び光導波路２Ｂが１本の出側光導波路に合流している。

[0083] 図９に示すように、光変調器１０１の断面視において、光変調器ユニット１００Ａは、光変調器ユニット１００Ｂと左右対称となっている。すなわち、光変調器ユニット１００Ａは、光変調器ユニット１００Ｂと、その幅方向で対称となっている。具体的に説明すると、光変調器ユニット１００Ａにおいて、第１電極３Ａは、光導波路２Ａに対し、その幅方向で光変調器ユニット１００Ｂ側にずれていて、第２電極４Ａは、光導波路２Ａに対し、その幅方向で光変調器ユニット１００Ｂの反対側にずれている。一方、光変調器ユニット１００Ｂにおいて、第１電極３Ｂは、光導波路２Ｂに対し、その幅方向で光変調器ユニット１００Ａ側にずれていて、第２電極４Ｂは、光導波路２Ｂに対し、その幅方向で光変調器ユニット１００Ａの反対側にずれている。この場合、第２電極同士４Ａ，４Ｂと比較して、第１電極３Ａ，３Ｂ同士が光導波路２Ａ，２Ｂの幅方向において近くに位置する。ただし、光変調器

101の断面視において、光変調器ユニット100Aは、光変調器ユニット100Bと左右非対称であってもよい。

[0084] 本実施形態の光変調器101であっても、上記した第1実施形態と同様の効果を得ることができる。さらに、本実施形態の光変調器101は、マッハツェンダ型の光変調器を構成するため、位相変調と合わせて、強度変調も可能になる。これより多値変調を行うことができ、伝送容量を大きくすることができる。

[0085] 本実施形態の光変調器101では、第1実施形態のように補助低誘電率層6A、補助低誘電率層6Bがなくてもよい。また、本実施形態の光変調器101では、第7実施形態のように基板1A、1Bがなくてもよい。

[0086] 本実施形態の光変調器101では、光導波路2A、2Bがリッジ型である。このため、第3実施形態と同様の効果が得られる。ただし、光導波路2A、2BがTi拡散によって形成されても構わない。

[0087] <第9実施形態>

図10は、第9実施形態に係る光変調器101の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器101は、第8実施形態の光変調器101を変形したものである。

[0088] 図10を参照して、光変調器ユニット100Aの第1電極3Aは、光変調器ユニット100Bの第1電極3Bと一体に形成されている。つまり、第1電極3Bが第1電極3Aと電氣的に一体である。この場合、第1電極3Bを第1電極3Aと共用することができる。

[0089] <第10実施形態>

図11は、第10実施形態に係る光変調器101の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器101は、第9実施形態の光変調器101を変形したものである。

[0090] 図11を参照して、光変調器ユニット100Aの基板1Aは、光変調器ユニット100Bの基板1Bと一体である。光導波路2Aと光導波路2Bとは、相互に自発分極の向きが反転している。基板1A及び基板1Bの材料が、

LNやLiTaO₃等のような強誘電性結晶である場合、その強誘電性結晶の材料に高電圧を印加することにより、自発分極の向きの反転は可能である。反転分極した箇所は原子間力顕微鏡、又は電子顕微鏡による観察で認識することができる。この場合、第1電極3Bを第1電極3Aと共用することができ、第1電極3A及び第1電極3Bには、相互に同じ位相の電圧が印加される。

[0091] 本実施形態の光変調器101では、光導波路2Aと光導波路2Bとの間隔を小さくすることができる。この場合、光変調器101全体の幅を狭めることができ、光変調器101の小型化を実現することができる。

[0092] <第11実施形態>

図12は、第11実施形態に係る光変調器100の断面を示す模式図である。本実施形態の光変調器100は、第3実施形態の光変調器100を変形したものである。

[0093] 図12を参照して、第1電極3は、上方に引き延ばされている。つまり、第1電極3は、光導波路2から厚み方向に延伸している。一方、第2電極4は、側方に引き延ばされている。つまり、第2電極4は、光導波路2から幅方向に延伸している。この場合、電界の強さが変わらずに、低誘電率層5に電界を印加することができる。

[0094] ただし、第1電極3は、側方に引き延ばされてもよい。つまり、第1電極3は、光導波路2から幅方向に延伸してもよい。一方、第2電極4は、下方に引き延ばされてもよい。つまり、第2電極4は、光導波路2から厚み方向に延伸してもよい。

[0095] 図13A～図13Cは、電極の長さや電界の強さの相関を示す模式図である。図13A～図13Cには、光変調器100の断面が示される。図13Aは、第1電極3及び第2電極4が引き延ばされていないときの様子を示す。図13Bは、第1電極3のみが引き延ばされたときの様子を示す。図13Cは、第1電極3及び第2電極4の両方が引き延ばされたときの様子を示す。これらの各図には、電氣的なポテンシャル(V)が等高線で描かれている。

等高線の間隔が狭くなるほど電界（ V/m ）が強い。光導波路 2 の外において、図 1 3 A、図 1 3 B 及び図 1 3 C の順に、等高線の間隔が狭くなっている。したがって、第 1 電極 3 及び第 2 電極 4 が光導波路 2 を斜めに挟むように配置された場合、図 1 3 C に示すように、第 1 電極 3 が上方に引き延ばされ、第 2 電極 4 が側方に引き延ばされていれば、光導波路 2 に対して電界が強くなる。

[0096] その他、本開示は上記の実施形態に限定されず、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で、種々の変更が可能である。

符号の説明

[0097] 1 0 0, 1 0 1 : 光変調器

1 : 基板

2 : 光導波路

3 : 第 1 電極

4 : 第 2 電極

5 : 低誘電率層

6 : 補助低誘電率層

7 : 支持板

請求の範囲

- [請求項1] 電気光学効果を有する材料からなる光導波路と、
前記光導波路を通過する光を制御するための制御電極と、
誘電率が前記光導波路よりも低い低誘電率層と、を備え、
前記制御電極は、互いに電位差を形成する第1電極及び第2電極を含み、
前記光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、
前記第1電極は、前記光導波路の幅方向の一方側、且つ前記光導波路の厚み方向の一方側に設けられ、
前記第2電極は、前記光導波路の幅方向の他方側、且つ前記光導波路の厚み方向の他方側に設けられ、
前記第1電極と前記光導波路との間に前記低誘電率層が介在し、
前記第1電極のうちで前記光導波路に近い部分が前記低誘電率層に埋設されている、光変調器。
- [請求項2] 請求項1に記載の光変調器であって、
前記第1電極は、前記光導波路側に配置され、前記低誘電率層に埋設された角部を含む、光変調器。
- [請求項3] 請求項1又は2に記載の光変調器であって、
前記光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、
前記光導波路は、前記幅方向に延びる第1辺と、前記第1辺と平行に配置され、前記幅方向に延びる第2辺と、を含み、
前記第1電極は、前記第1辺側に設けられている、光変調器。
- [請求項4] 請求項1又は2に記載の光変調器であって、
前記光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、
前記光導波路は、前記幅方向に延びる長軸としての底辺を含む半楕円形状を有し、
前記第1電極は、前記底辺側に設けられている、光変調器。
- [請求項5] 請求項1～4のいずれか1項に記載の光変調器であって、

前記光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、
前記第 1 電極は、矩形状を有しており、
前記第 1 電極は、前記低誘電率層の前記光導波路とは反対側の面に
埋設されている、光変調器。

[請求項6] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、
前記光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、
前記第 1 電極は、前記光導波路の前記厚み方向の中央よりも前記一
方側のみに設けられ、
前記第 2 電極は、前記光導波路の前記厚み方向の前記中央よりも前
記他方側のみに設けられている、光変調器。

[請求項7] 請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、
前記第 2 電極と前記光導波路との間に、誘電率が前記光導波路より
も低い補助低誘電率層が設けられている、光変調器。

[請求項8] 請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、
前記光導波路の前記材料は、 LiNbO_3 である、光変調器。

[請求項9] 請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、
前記第 1 電極及び前記第 2 電極のうち、一方が前記光導波路から前
記厚み方向に延伸し、他方が前記光導波路から前記幅方向に延伸して
いる、光変調器。

[請求項10] 請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、さらに
前記光導波路が設けられた基板を備える、光変調器。

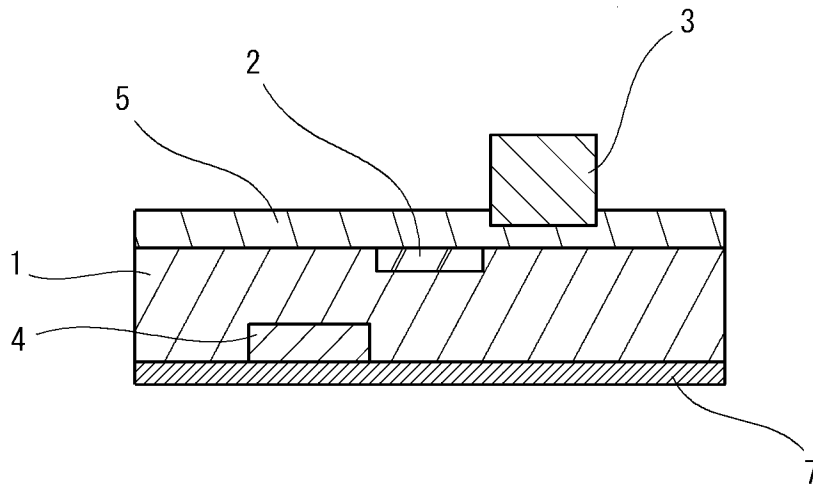
[請求項11] 請求項 10 に記載の光変調器であって、
前記基板が前記光導波路と同じ材料からなり、
前記光導波路がリッジ型である、光変調器。

[請求項12] 請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、
前記光導波路と、前記制御電極と、前記低誘電率層とをそれぞれ含
み、並列に配置される 2 つの光変調器ユニット、を備える、光変調器
。

- [請求項13] 請求項 1 2 に記載の光変調器であって、
前記 2 つの光変調器ユニットのうち、一方の光変調器ユニットの前記第 1 電極は、他方の光変調器ユニットの前記第 1 電極と一体に形成されている、光変調器。
- [請求項14] 請求項 1 2 又は 1 3 に記載の光変調器であって、
前記光変調器ユニットの各々は、さらに、前記光導波路が設けられた基板を含み、
前記 2 つの光変調器ユニットのうち、一方の光変調器ユニットの前記基板は、他方の光変調器ユニットの前記基板と並列に配置される、光変調器。
- [請求項15] 請求項 1 4 に記載の光変調器であって、
前記光変調器ユニットの各々において、前記基板が前記光導波路と同じ材料からなり、
前記光導波路がリッジ型である、光変調器。
- [請求項16] 請求項 1 4 又は 1 5 に記載の光変調器であって、
前記 2 つの光変調器ユニットのうち、一方の光変調器ユニットの前記基板は、他方の光変調器ユニットの前記基板と一体であり、
前記一方の光変調器ユニットの前記光導波路と、前記他方の光変調器ユニットの前記光導波路とは、相互に自発分極の向きが反転しており、
前記一方の光変調器ユニットの前記第 1 電極及び前記他方の光変調器ユニットの前記第 1 電極には、相互に同じ位相の電圧が印加される、光変調器。

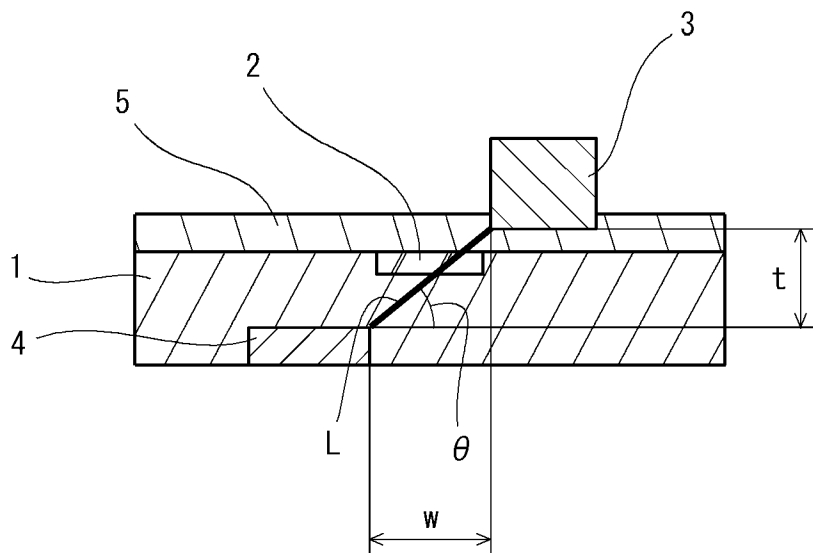
[図1]

FIG. 1

100

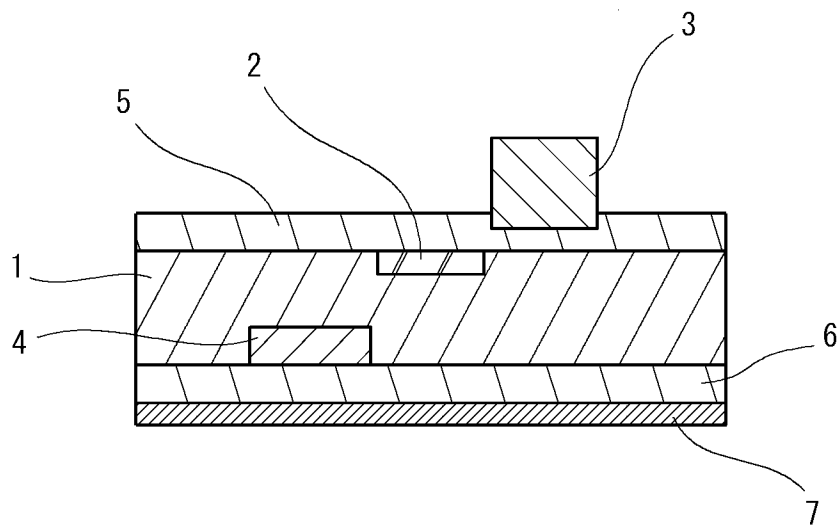
[図2]

FIG. 2

100

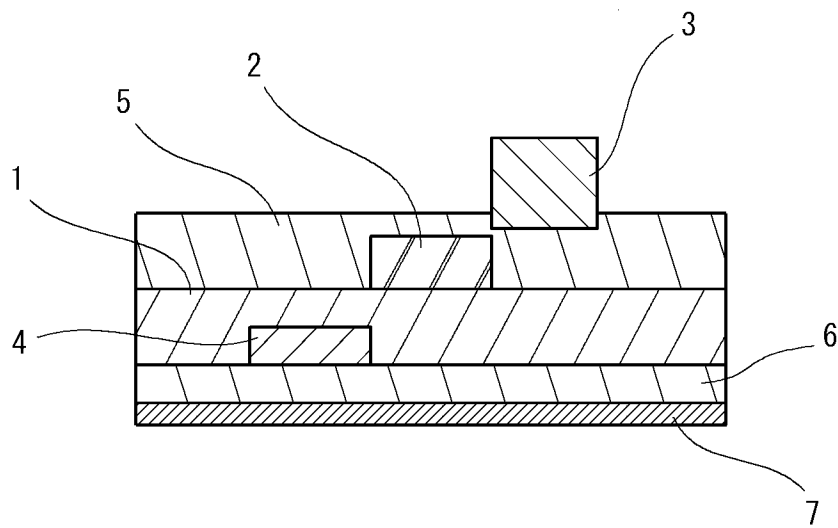
[図3]

FIG. 3

100

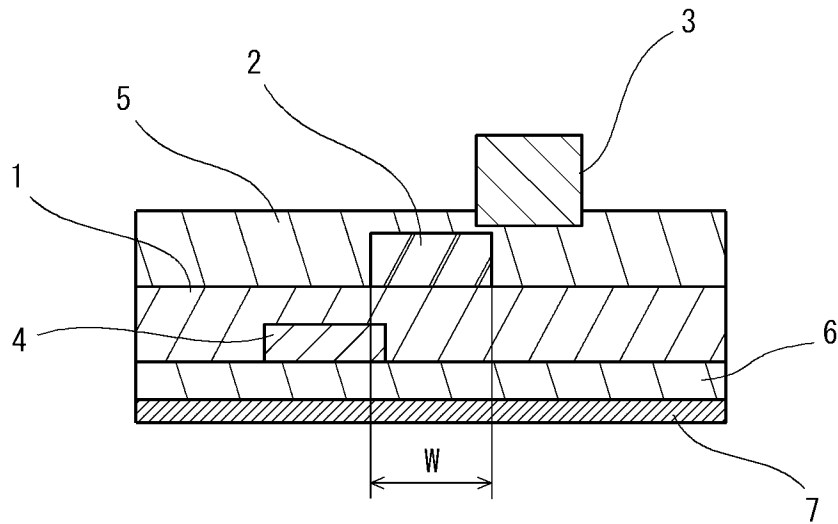
[図4]

FIG. 4

100

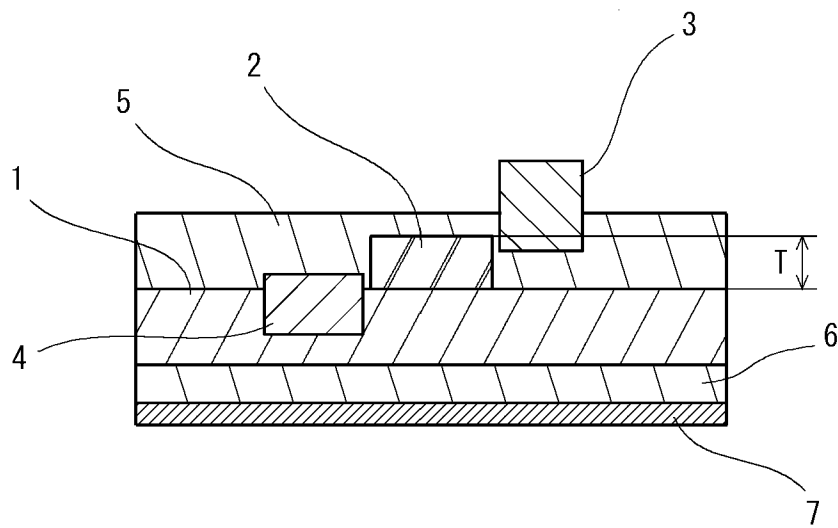
[図5]

FIG. 5

100

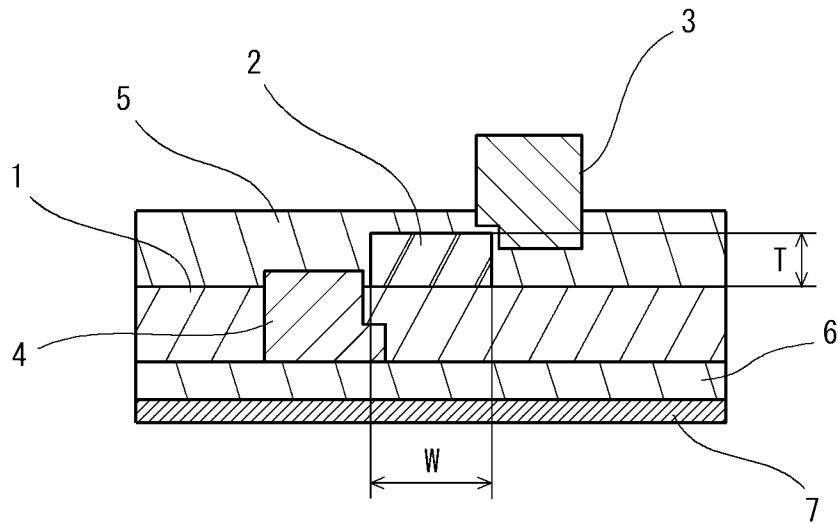
[図6]

FIG. 6

100

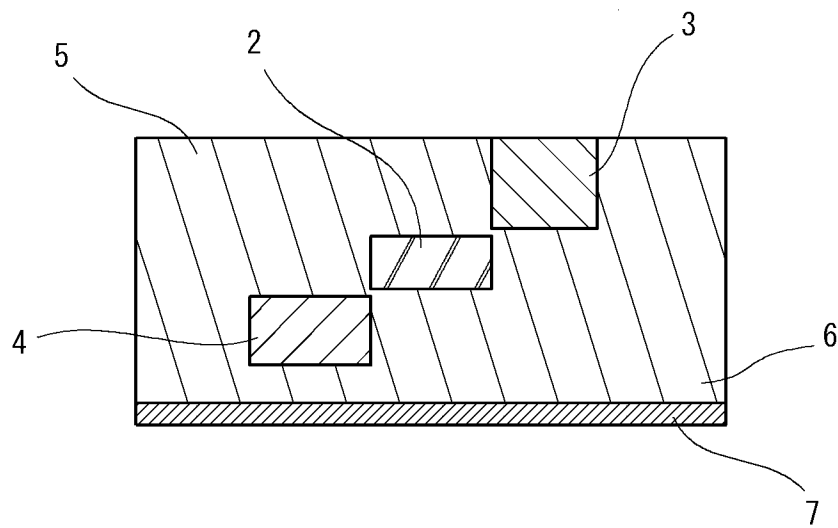
[図7]

FIG. 7

100

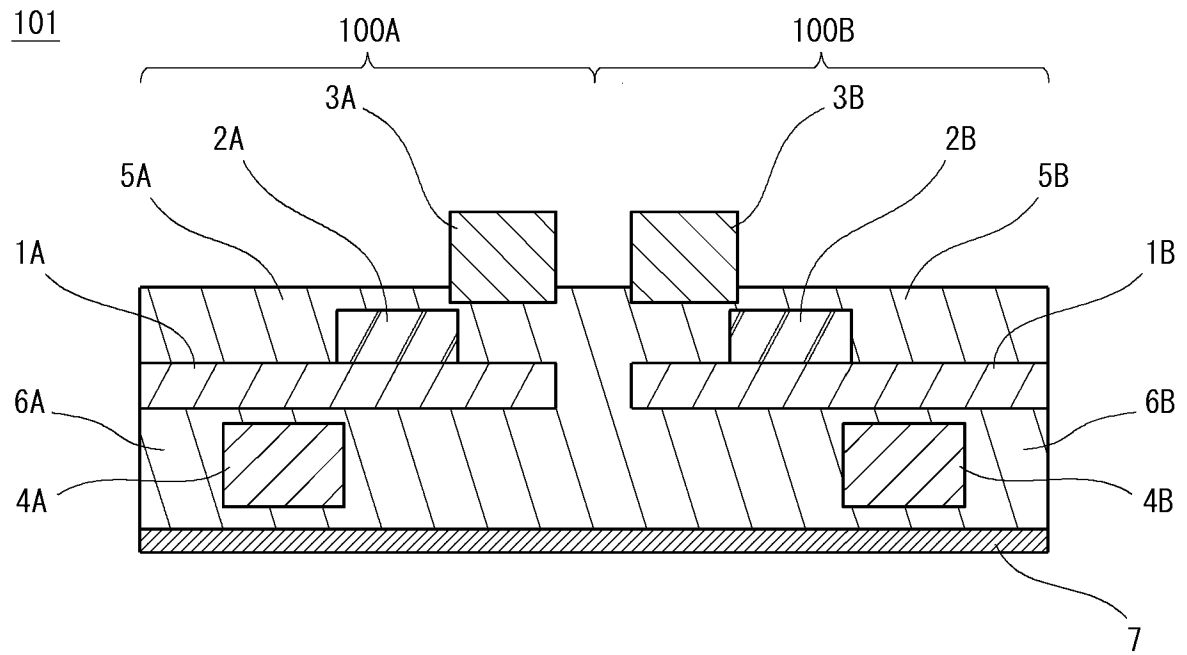
[図8]

FIG. 8

100

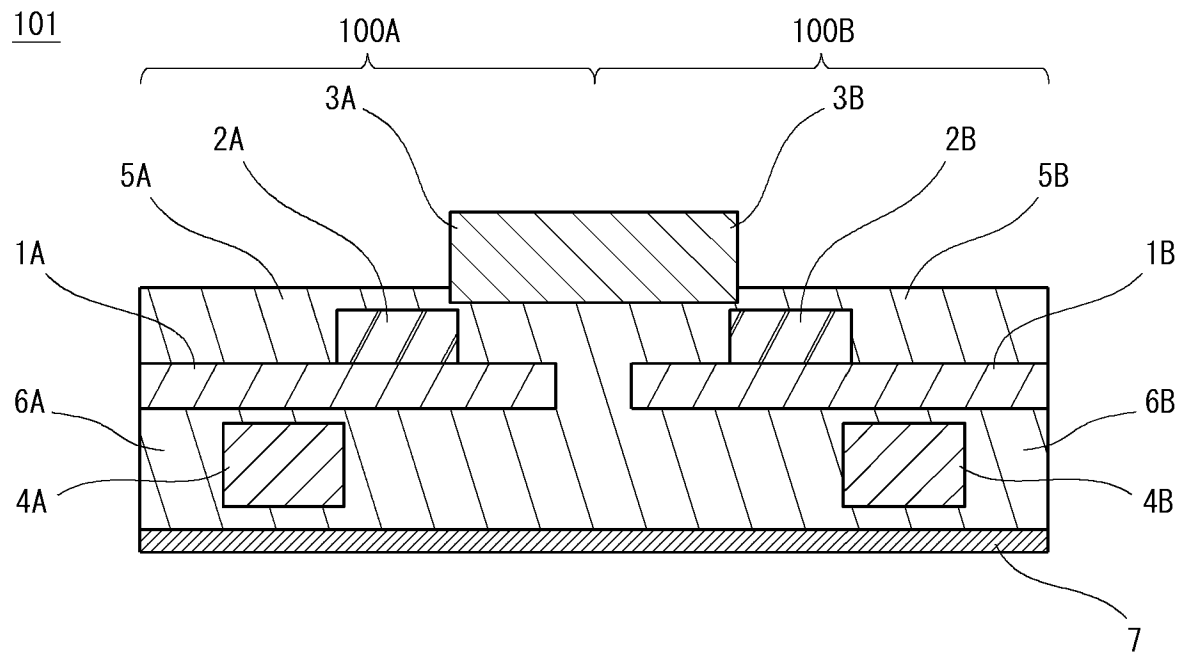
[図9]

FIG. 9



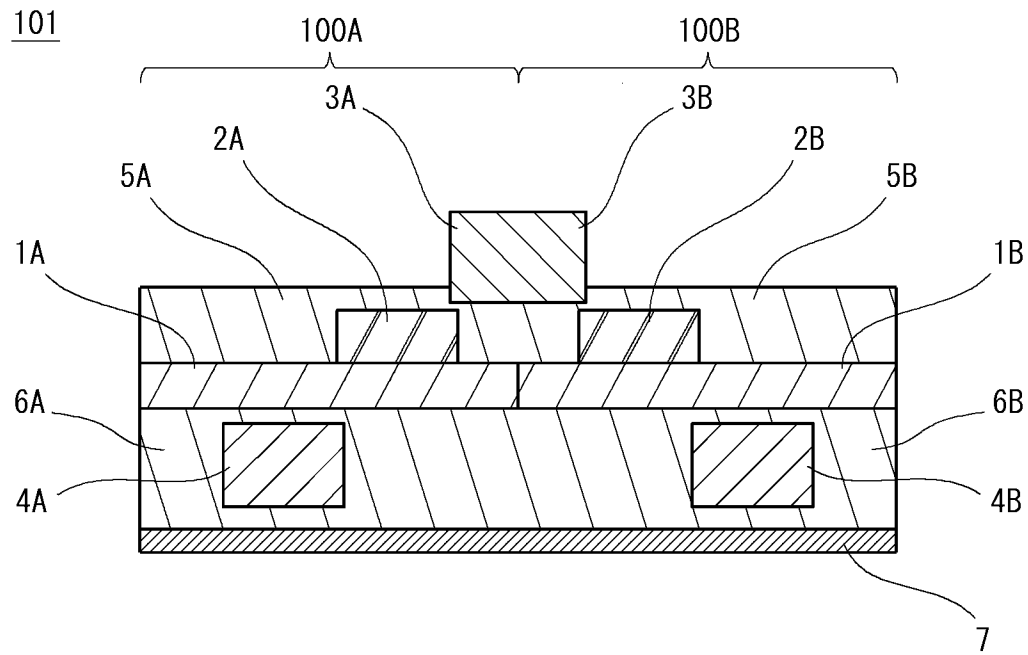
[図10]

FIG. 10



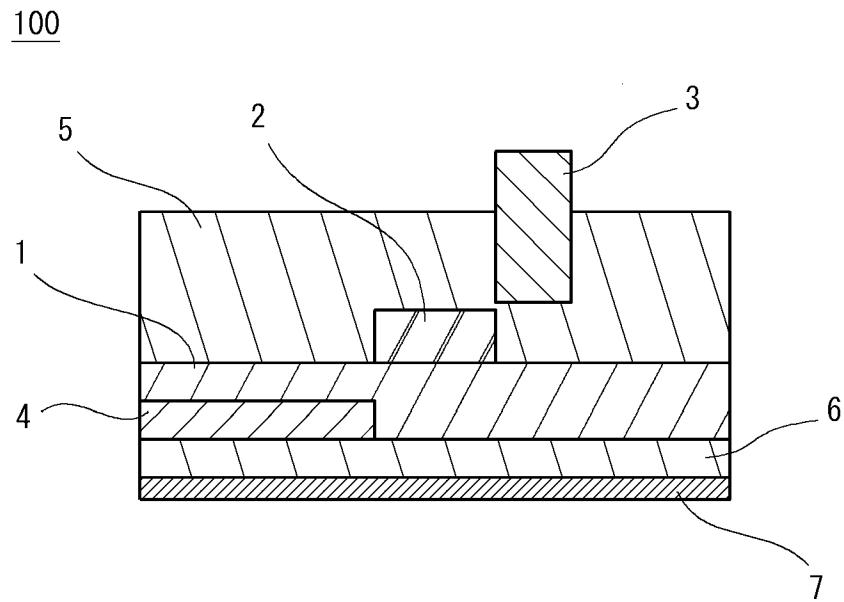
[図11]

FIG. 11



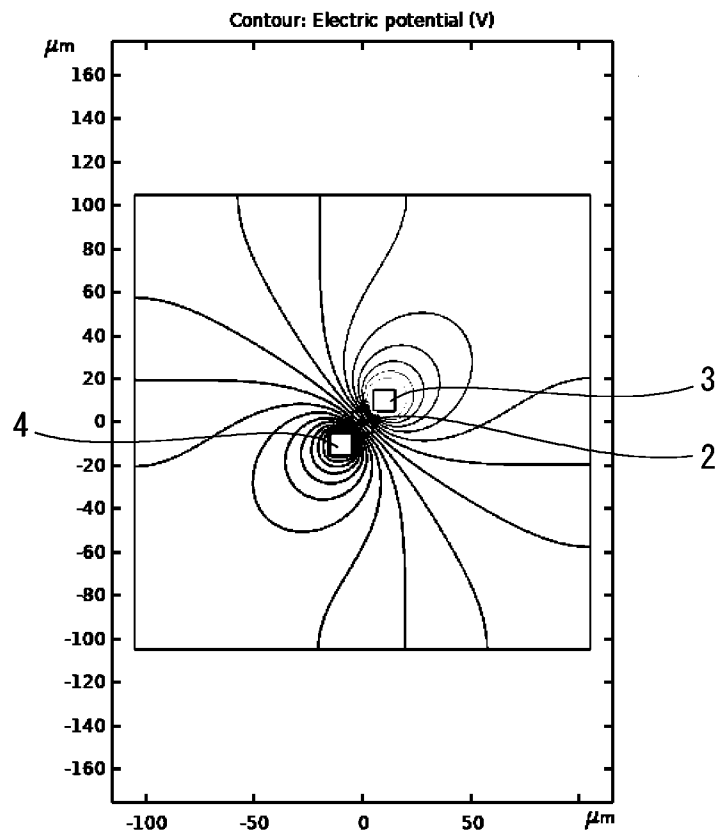
[図12]

FIG. 12



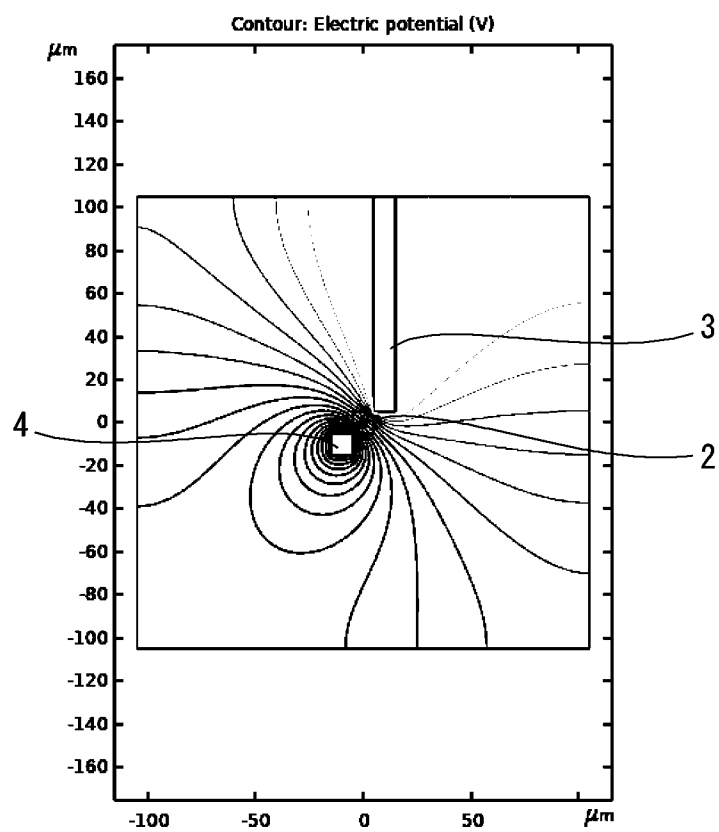
[図13A]

FIG. 13A



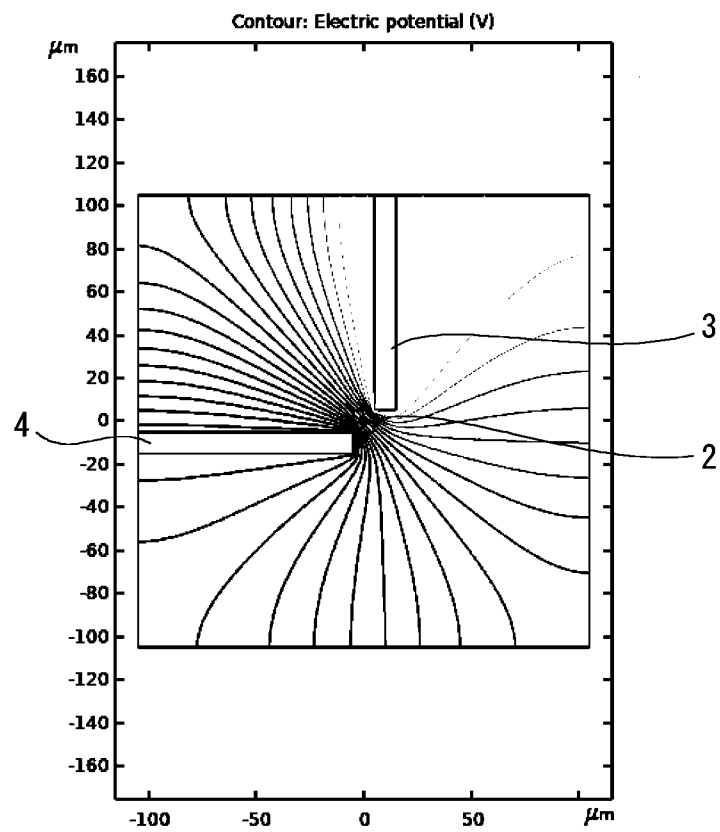
[図13B]

FIG. 13B



[図13C]

FIG. 13C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/043689

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

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 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
X	JP 2017-111238 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 22 June 2017 (2017-06-22)	1-3, 5-7, 9-10
Y	paragraphs [0034]-[0064], fig. 9	4-16
Y	JP 2008-250081 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 16 October 2008 (2008-10-16)	4-16
	paragraphs [0032]-[0062], [0067]-[0069], fig. 4, 7, 9, 10, 17, 18	
X	JP 2020-034610 A (LUMENTUM JAPAN, INC.) 05 March 2020 (2020-03-05)	1-3, 5, 7-10
Y	paragraphs [0024]-[0108], fig. 11, 14-16	4-16
Y	US 2016/0139486 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 19 May 2016 (2016-05-19)	6-16
	paragraphs [0018]-[0040], fig. 1-8	

☐ 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

19 January 2023

Date of mailing of the international search report

31 January 2023

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/JP2022/043689

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2017-111238	A	22 June 2017	(Family: none)	
JP	2008-250081	A	16 October 2008	US 2010/0046880 A1 paragraphs [0055]-[0088], [0094]-[0097], fig. 4, 7, 9, 10, 17, 18 EP 2133733 A1 CN 101669061 A	
JP	2020-034610	A	05 March 2020	US 2020/0064548 A1 paragraphs [0051]-[0135], fig. 11, 14-16 CN 110865470 A	
US	2016/0139486	A1	19 May 2016	CN 105308488 A	

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 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>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023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	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023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								
X	JP 2017-111238 A（日本電信電話株式会社）22.06.2017（2017-06-22） [0034]-[0064], 図9	1-3, 5-7, 9-10								
Y		4-16								
Y	JP 2008-250081 A（住友大阪セメント株式会社）16.10.2008（2008-10-16） [0032]-[0062], [0067]-[0069], 図4, 7, 9-10, 17-18	4-16								
X	JP 2020-034610 A（日本ルメンタム株式会社）05.03.2020（2020-03-05） [0024]-[0108], 図11, 14-16	1-3, 5, 7-10								
Y		4-16								
Y	US 2016/0139486 A1（THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA）19.05.2016 （2016-05-19） [0018]-[0040], 図1-8	6-16								
☐ 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、一般的な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 “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 19.01.2023		国際調査報告の発送日 31.01.2023								
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） 奥村 政人 2L 4752 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/JP2022/043689

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2017-111238	A	22.06.2017	(ファミリーなし)	
JP	2008-250081	A	16.10.2008	US 2010/0046880 A1	
				[0055]-[0088], [0094]-	
				[0097], 図4, 7, 9-10, 17-18	
				EP 2133733 A1	
				CN 101669061 A	
JP	2020-034610	A	05.03.2020	US 2020/0064548 A1	
				[0051]-[0135], 図11, 14-16	
				CN 110865470 A	
US	2016/0139486	A1	19.05.2016	CN 105308488 A	