(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年9月21日(21.09.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/176053 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/043688

(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 2022-042072 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１０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１０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１０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１７号 Osaka (JP).

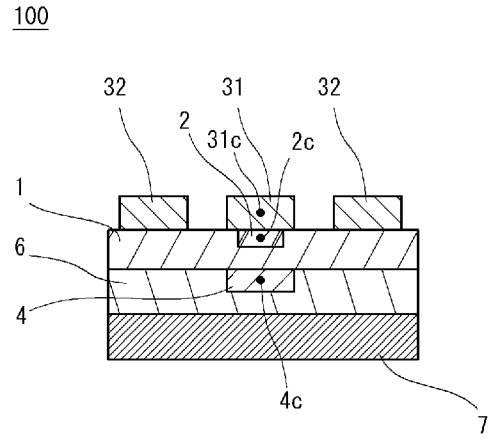
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, 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,

(54) **Title:** OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称： 光変調器

［図1］



(57) **Abstract:** An optical modulator (100) comprises an optical waveguide (2), a first electrode (31), two second electrodes (32), and a third electrode (4) that forms a potential difference with the first electrode (31) and second electrode (32) group. Voltage of the same phase as the first electrode (31) is applied to each of the second electrodes (32). In a cross-section that is orthogonal to the extension direction of the optical waveguide (2), the first electrode (31) is provided on one side in the thickness direction of the optical waveguide (2), one of the second electrodes (32) of the two second electrodes (32) is provided on one side of the first electrode (31) in the width direction of the optical waveguide (2) at an interval from the first electrode (31), and the other of the second electrodes (32) is provided on the other side of the first electrode (31) in the width direction of the optical waveguide (2) at an interval from the first electrode (31). The third electrode (4) is provided on the other side in the thickness direction of the optical waveguide (2).

WO 2023/176053 A1

［続葉有］

IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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：光変調器（１００）は、光導波路（２）と、第１電極（３１）と、２つの第２電極（３２）と、第１電極（３１）及び第２電極（３２）の群と電位差を形成する第３電極（４）と、を備える。第２電極（３２）の各々に第１電極（３１）と同じ位相の電圧が印加される。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（３１）は、光導波路（２）の厚み方向の一方側に設けられ、２つの第２電極（３２）のうち、一方の第２電極（３２）は、第１電極（３１）に対して光導波路（２）の幅方向の一方側で第１電極（３１）と間隔をあけて設けられ、他方の第２電極（３２）は第１電極（３１）に対して光導波路（２）の幅方向の他方側で第１電極（３１）と間隔をあけて設けられている。第３電極（４）は、光導波路（２）の厚み方向の他方側に設けられている。

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２００８－２５００８１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、少なくとも第１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、少なくとも第２信号電極を有する。第１信号電極及び第２信号電極には、互いに位相が反転した変調信号が入力され、互いに協働し光導波路に電界が印加される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００８－２５００８１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の光変調器において、第１信号電極からの電界の一部が、光導波路を通過せずに左右の接地電極に漏れることは否めない。さらに第２信号電極からの電界の一部が、光導波路を通過せずに左右の接地電極に漏れるこ

とも否めない。このため、光導波路に印加される電界の比率が高いとは言い難い。

[0006] 本開示の目的は、光導波路に印加される電界の比率を向上す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、を備える。制御電極は、第１電極と、２つの第２電極と、第１電極及び第２電極の群と電位差を形成する第３電極と、を含む。第２電極の各々に第１電極と同じ位相の電圧が印加される。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一方側に設けられている。この断面視において、２つの第２電極のうち、一方の第２電極は第１電極に対して光導波路の幅方向の一方側で第１電極と間隔をあけて設けられ、他方の第２電極は第１電極に対して光導波路の幅方向の他方側で第１電極と間隔をあけて設けられている。この断面視において、第３電極は、光導波路の厚み方向の他方側に設けられている。

発明の効果

[0008] 本開示に係る光変調器によれば、光導波路に印加される電界の比率を向上することができる。

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、変形例１の光変調器の断面を示す模式図である。

[図3]図３は、変形例１の光変調器の断面を示す模式図である。

[図4]図４は、変形例１の光変調器の断面を示す模式図である。

[図5]図５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6]図６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7]図７は、変形例２の光変調器の断面を示す模式図である。

[図8]図８は、変形例２の光変調器の断面を示す模式図である。

[図9]図９は、変形例２の光変調器の断面を示す模式図である。

[図10]図１０は、変形例３の光変調器の断面を示す模式図である。

[図11]図１１は、変形例３の光変調器の断面を示す模式図である。

[図12]図１２は、変形例３の光変調器の断面を示す模式図である。

[図13]図１３は、変形例３の光変調器の断面を示す模式図である。

[図14]図１４は、変形例３の光変調器の断面を示す模式図である。

[図15]図１５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16]図１６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17]図１７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18]図１８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19]図１９は、第７実施形態に係る光変調器の平面を示す模式図である。

[図20]図２０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21]図２１は、第８実施形態に係る光変調器の平面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、を備える。制御電極は、第１電極と、２つの第２電極と、第１電極及び第２電極の群と電位差を形成する第３電極と、を含む。第２電極の各々に第１電極と同じ位相の電圧が印加される。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一方側に設けられている。この断面視において、２つの第２電極のうち、一方の第２電極は第１電極に対して光導波路の幅方向の一方側で第１電極と間隔をあけて設けられ、他方の第２電極は第１電極に対して光導波路の幅方向の他方側で第１電極と間隔をあけて設けられている。この断面視において、第３電極は、光導波路の厚み方向の他方側に設

けられている（第１の構成）。

[0012] 第１の構成の光変調器では、第１電極及び第３電極が光導波路を厚み方向に挟むように配置される。さらに、２つの第２電極が、第１電極の傍で第１電極と間隔をあけて、第１電極を光導波路の幅方向に挟むように配置される。光変調器の作動時、第１電極及び２つの第２電極に、相互に同じ位相の電圧が印加される。これにより、第１電極及び第２電極から個別に第３電極に向かって電界が作用し、光導波路に電界が印加される。この場合、特許文献１のように、光導波路に対して厚み方向の一方側に単一の信号電極があり、この信号電極からの電界のみが光導波路に印加される場合に比べて、第１電極からの電界のみならず、２つの第２電極からの電界が光導波路に加わることになる。したがって、光導波路に印加される電界の比率を向上することができる。本明細書において、このような光導波路に印加される電界の比率を、光導波路に関する電界印加効率と言う場合がある。

[0013] 第１の構成の光変調器は、好ましくは、下記の構成を備える。光導波路の延びる方向に垂直な断面視において、第１電極の幅方向の中心位置が光導波路の幅方向の中央部に位置し、第３電極の幅方向の中心位置が光導波路の幅方向の中央部に位置する（第２の構成）。この場合、第１電極から第３電極に向かう電界強度を高めることができ、光導波路に関する電界印加効率を高めることができる。

[0014] 上記した光変調器は、好ましくは、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、２つの第２電極は、第１電極に対して光導波路の幅方向に対称配置されている（第３の構成）。この場合、実効屈折率の偏りを抑制し、光損失を抑えることができる。

[0015] 上記した光変調器は、好ましくは、下記の構成を備える。光導波路の幅方向において、一方の第２電極は、光導波路の一方側の端部から離隔されて配置され、他方の第２電極は、光導波路の他方側の端部から離隔されて配置されている。光変調器は、さらに、誘電率が光導波路よりも低い低誘電率層を備える。低誘電率層は、第２電極と第３電極との間に介在するように第２電

極の表面の少なくとも一部を覆う（第４の構成）。

[0016] 第４の構成の光変調器は、好ましくは、下記の構成を備える。低誘電率層は、第１電極と第３電極との間に介在するように第１電極の表面の少なくとも一部を覆う（第５の構成）。

[0017] 第４の構成の光変調器では、第２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。さらに、第５の構成の光変調器では、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、低誘電率層が設けられていない場合と比較して、電気信号の感じる実効屈折率が低下する。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。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。

[0018] 上記した光変調器は、好ましくは、誘電率が光導波路よりも低い補助低誘電率層を備える。補助低誘電率層は、第２電極と第３電極との間に介在するように第３電極の表面の少なくとも一部を覆う（第６の構成）。

[0019] 第６の構成の光変調器では、第２電極から光導波路に向かう電界が補助低誘電率層を通過する。これにより、補助低誘電率層が設けられていない場合と比較して、電気信号の感じる実効屈折率が低下する。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。

[0020] 上記した光変調器は、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７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。

[0021] 上記した光変調器は、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８の構成）。

[0022] 第８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９の構成）。この場合、光導波路内に光をより閉じ込めることができる。さらに、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。

[0023] 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。

[0024] 第１～第７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、制御電極とを含む（第１０の構成）。

[0025] 第１０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１０の構成の光変調器は、第１～第７の構成と同様の効果を奏する。

[0026] 第１０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１１の構成）。

[0027] 第１１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１２の構成）。第１２の構成の光変調器は、第９の構成に対応する。このため、第９の構成と同様に、光導波路内に光をより閉じ込めることができ、さらに、実効屈折率の調整が容易である。

[0028] 第１１の構成又は第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基板は、他方の光変調器ユニットの基板と一体である。一方の光変調器ユニットの第１電

極及び第２電極には、他方の光変調器ユニットの第１電極及び第２電極と逆の位相の電圧が印加される（第１３の構成）。

[0029] 第１３の構成の光変調器では、一方の光変調器ユニットの基板と他方の光変調器ユニットの基板を共用することができる。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。

[0030] 第１１の構成又は第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２つの第２電極の一方は、他方の光変調器ユニットの２つの第２電極の一方と一体に形成されている。一方の光変調器ユニットの第１電極及び第２電極には、他方の光変調器ユニットの第１電極及び第２電極と相互に同じ位相の電圧が印加される（第１４の構成）。

[0031] 第１４の構成の光変調器では、互いに近い位置にある第２電極が一体に形成されて、共用される。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より小さくすることができる。この場合、光変調器全体の幅をより狭めることができる。

[0032] 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。

[0033] ＜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。

[0034] 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３１と、２つの第２電極３２と、第３電極４と、を備える。第１電極３１、２つの第２電極３２、及び第３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。

[0035] 第１電極３１及び２つの第２電極３２の各々は、基板１の上に配置される。第２電極３２の各々に第１電極３１と同じ位相の電圧が印加される。第３電極４は、第１電極３１及び第２電極３２の群と電位差を形成する。第１電極３１及び第２電極３２は、例えば信号電極である。第３電極４は、例えば接地電極である。第３電極４は、第１電極３１及び第２電極３２の電圧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。

[0036] 第３電極４は、基板１の下の位置に配置される。本実施形態の光変調器１００は、さらに、補助低誘電率層６を備える。基板１、光導波路２、第１電極３１、第２電極３２、第３電極４、及び補助低誘電率層６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。

[0037] 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Ｔｉを拡散させることで形成される。基板１のうちのＴｉ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。

[0038] 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辺は一対の長辺であり、第３辺及び第４辺は一対の短辺である。光導波路２の断面形状が幅広の矩形状の場合、一対の長辺のうちの一方の長辺（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。

[0039] 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、異なっていてもよい。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、異なっていてもよい。

[0040] 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。

[0041] 第１電極３１、第２電極３２及び第３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。第１電極３１は、光導波路２の厚み方向の一方側に設けられている。第３電極４は、光導波路２の厚み方向の他方側に設けられている。例えば、第１電極３１は、光導波路２の上に積み重ねられている。この場合、第１電極３１は、光導波路２の概ね真上に配置される。第３電極４は、光導波路２の下に積み重ねられている。この場合、第３電極４は、光導波路２の概ね真下に配置される。また、２つの第２電極３２のうち、

一方の第２電極３２は第１電極３１に対して光導波路２の幅方向の一方側で第１電極３１と間隔をあけて設けられ、他方の第２電極３２は第１電極３１に対して光導波路２の幅方向の他方側で第１電極３１と間隔をあけて設けられている。このため、第１電極３１は、第２電極３２同士の間に配置される。また、光導波路２の幅方向において、一方の第２電極３２は、光導波路２の一方側の端部から離隔されて配置され、他方の第２電極３２は、光導波路２の他方側の端部から離隔されて配置されている。

[0042] 要するに、第１電極３１及び第３電極４が光導波路２を上下方向（厚み方向）に挟むように配置される。さらに、光導波路２に対して、２つの第２電極３２が、第１電極３１の傍で第１電極３１と間隔をあけて、第１電極３１を左右方向（幅方向）に挟むように配置される。

[0043] 本実施形態では、第１電極３１の幅方向（左右方向）の中心３１ｃの位置が光導波路２の幅方向の中央部に位置する。第１電極３１の中心３１ｃは、例えば、光導波路２の幅方向において、光導波路２を３等分したときに中央に位置する領域の範囲内に配置される。例えば、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置は、光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していてもよい。第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中央部に位置する。第３電極４の中心４ｃは、例えば、光導波路２の幅方向において、光導波路２を３等分したときに中央に位置する領域の範囲内に配置される。例えば、第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置は、光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していてもよい。この場合、第１電極３１の中心３１ｃの位置、第３電極４の中心４ｃの位置、及び光導波路２の中心２ｃの位置が、幅方向で揃っていて、相互にずれていない。別の観点では、第１電極３１が第３電極４の実質的に又は概ね真上に配置されるとともに、第１電極３１と第３電極４との間に光導波路２が配置されている。さらに、２つの第２電極３２は、第１電極３１に対して光導波路２の幅方向に対称配置されている。

[0044] 本実施形態では、基板１の下に、補助低誘電率層６が積層されている。支

持板７は、補助低誘電率層６の下に積層されている。第３電極４は、補助低誘電率層６の内部に配置され、基板１の下に積層されている。補助低誘電率層６は、第２電極３２と第３電極４との間に介在するように第３電極４の表面の少なくとも一部を覆う。本実施形態の例では、補助低誘電率層６は、第３電極４の側面及び下面を直接覆っている。この場合、補助低誘電率層６のうち第３電極４の側面を覆う部分が第２電極３２と第３電極４との間に介在することになる。

[0045] 補助低誘電率層６の誘電率は、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、例えば、SiO_2である。補助低誘電率層６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。補助低誘電率層６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。

[0046] ただし、補助低誘電率層６は設けられなくてもよい。補助低誘電率層６が設けられない場合、第３電極４は、基板１の下部に配置されていればよい。別の観点では、第３電極４は、基板１の下部に埋まっていればよい。

[0047] ［効果］

本実施形態では、第１電極３１及び第３電極４が光導波路２を厚み方向に挟むように配置される。さらに、光導波路２に対して厚み方向の同じ側で、２つの第２電極３２が、第１電極３１の傍で第１電極３１と間隔をあけて、第１電極３１を幅方向に挟むように配置される。つまり、第３電極４と電位差を形成する第１電極３１及び２つの第２電極３２が別個に存在する。さらに、第１電極３１と第２電極３２との間に空間が存在する。

[0048] 本実施形態の光変調器１００によれば、光変調器１００の作動時、光導波路２に対して厚み方向の同じ側に配置された第１電極３１及び２つの第２電極３２に、相互に同じ位相の電圧が印加される。第３電極４は、第１電極３１及び第２電極３２の群と電位差を形成する。これにより、第１電極３１及

び第２電極３２から個別に第３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。そうすると、第１電極３１からの電界は、すべて光導波路２を通過する。第２電極３２からの電界は、そのほとんどが光導波路２を通過する。すなわち、光導波路２に対し、第１電極３１からの電界のみならず、２つの第２電極３２からの電界が加わるため、光導波路２に対して厚み方向の同じ側に単一の信号電極と接地電極とが配置されている場合と比較して、光導波路２に関する電界印加効率を向上することができる。

[0049] さらに、本実施形態では、補助低誘電率層６が第２電極３２と第３電極４との間に介在しているため、第２電極３２からの電界が補助低誘電率層６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。

[0050] 光導波路２に対して厚み方向の同じ側に第１電極３１及び２つの第２電極３２が配置されるとともに、第１電極３１及び第３電極４が光導波路２を厚み方向に挟むように配置されていれば、第１電極３１及び２つの第２電極３２それぞれから光導波路２に電界を印加することができる。このため、単一の信号電極及び接地電極が光導波路を厚み方向に挟むように配置されている場合と比較して、光導波路２に電界を印加しやすく、また実効屈折率を調整しやすくなり、その結果、光変調器の構造設計の自由度を高めることができる。

[0051] 第３電極４と電位差を形成する信号電極のインピーダンスは５０Ωであることが理想である。本実施形態の場合、第３電極４と電位差を形成する信号電極として、第１電極３１及び２つの第２電極３２が別個に存在する。別の観点では、第３電極４と電位差を形成する信号電極が３つに分割されている。信号電極を１つから３つにすることで、広範囲の補助低誘電率層６又は後述する低誘電率層５に電界を印加しつつ第１電極３１及び第２電極３２のインピーダンスを理想の５０Ωに近づけることができる。信号電極を３つにすることで、印加電圧をそれぞれ設定することができる。それにより、補助低

誘電率層６又は後述する低誘電率層５の断面積や光導波路の形状に合わせて好適な電界強度分布になるように調整ができる。

[0052] 本実施形態では、第３電極４と電位差を形成する信号電極として、第１電極３１及び２つの第２電極３２という３つの信号電極が設けられている。第１電極３１が光導波路２に電界を印加する役割を担い、２つの第２電極３２が実効屈折率を調整する役割を担う。第１電極３１は、光導波路２に効率的かつ均一に電界を印加するために、光導波路２の直上付近に設置することが好ましい。

[0053] 第２電極３２が第１電極３１の横にそれぞれ配置されることにより、第２電極３２から第３電極４に水平成分を持つ電界を印加することができる。これにより、補助低誘電率層６を通過する電界成分を増すことができる。仮に第２電極３２が１つの場合、光導波路２が水平方向に感じる屈折率のバランスが悪くなる。そこで、実効屈折率の水平方向のバランスを調整するために、第１電極３１の左右に１つずつ第２電極３２を設置して協働させる。

[0054] このように、１つの第１電極３１に対して、２つの第２電極３２が設けられることが好ましい。３つ以上の第２電極３２の設置は、２つの第２電極３２を設置する以上の効果を望めず、デバイス（光変調器１００）のサイズの拡大を招くためである。したがって、第１電極３１と２つの第２電極３２の構成が最も好ましい。

[0055] また、本実施形態では、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置が光導波路２の幅方向の中央部に位置し、第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中央部に位置する。この場合、第１電極３１が第３電極４の実質的に又は概ね真上に配置されるとともに、第１電極３１と第３電極４との間に光導波路２が配置される。このため、第１電極３１から第３電極４に向かう電界強度を高めることができ、光導波路２に関する電界印加効率を高めることができる。

[0056] さらに、本実施形態では、２つの第２電極３２は、第１電極３１に対して光導波路２の幅方向に対称配置されている。第２電極３２が対称の位置に存

在することにより、第２電極３２からバランスよく電界を印加することができる。このため、実効屈折率の偏りを抑制し、光損失を抑えることができる。

[0057] また、本実施形態では、光導波路２に対し、第１電極３１と第２電極３２が設けられている側に、第３電極が設けられていない。第３電極とは、第１電極３１及び第２電極３２の群と電位差を形成する電極である。仮に、光導波路２に対し、第１電極３１と第２電極３２が設けられている側に、第３電極が設けられていれば、第１電極３１や第２電極３２からの電界の一部が、その第３電極に漏れることは否めない。このため、光導波路２に関する電界印加効率が高いとは言い難い。この点、本実施形態では、光導波路２に対し、第１電極３１と第２電極３２が設けられている側に、第３電極が設けられていないため、上記の通り、光導波路２に関する電界印加効率を向上することができる。

[0058] ［第１電極３１、第２電極３２及び第３電極４の寸法］

第１電極３１と第２電極３２との幅方向の間隔が増加するのに伴い、実効屈折率及びインピーダンスが増加する。第１電極３１及び第２電極３２の厚み（膜厚）が増加するのに伴い、実効屈折率及びインピーダンスが減少する。第１電極３１及び第２電極３２の幅が増加すると、実効屈折率は増加し、インピーダンスは減少する。例えば、５０Ωを理想のインピーダンスとし、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を近づけると、光信号の変調速度を向上させることができる。

[0059] 第３電極４の幅方向の寸法は、光導波路２の幅と同じかそれよりも小さいことが好ましい。電界印加効率が高まるからである。第１電極３１の幅方向の寸法は、光導波路２の幅と同じかそれよりも小さいことが好ましい。電界印加効率が高まるからである。各第２電極３２の幅方向の寸法は、第１電極３１の幅方向の寸法と同じかそれよりも大きいことが好ましい。ただし、各第２電極３２の幅方向の寸法は、第１電極３１の幅方向の寸法より小さくてもよい。第１電極３１と第２電極３２との幅方向の間隔（隙間）は、第１電

極３１の幅方向の寸法と同じかそれよりも大きいことが好ましい。第１電極３１の幅方向の寸法、及び各第２電極３２の幅方向の寸法は、第１電極３１及び第２電極３２それぞれのインピーダンスが略同一となるように設計すればよく、変調速度の低下の抑制の観点から、例えば５０Ωを目標として５０Ω±１０Ωの範囲内となるように設定すればよい。第１電極３１と第２電極３２との間隔は、電気信号の感じる実効屈折率が光導波路２の屈折率を下回らないように設定すればよい。

[0060] 第１電極３１の幅方向の寸法は、光導波路２の幅より大きくてもよい。この場合、第３電極４の幅方向の寸法は、光導波路２の幅より大きくてもよいが、第１電極３１の幅方向の寸法より小さいことが好ましい。第１電極３１の幅方向の寸法が光導波路２の幅よりも大きければ、第１電極３１からの電界の一部は、第３電極４への到達過程で補助低誘電率層６を通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率をより低下させることができる。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り、変調周波数を高めることができる。

[0061] ［第１実施形態の光変調器１００の製造方法］

以下、第１実施形態の光変調器１００の製造方法の一例を説明する。電気光学効果を有する材料からなる基板１を準備する。基板１上に第３電極４を形成する。例えば、フォトリソグラフィ、蒸着、リフトオフなどでパターニングすることによって、第３電極４を形成できる。第３電極４の形成方法は、フォトリソグラフィ、メッキでもよい。蒸着、スパッタリング、ＣＶＤなどで成膜して、フォトリソグラフィでパターニングした後、エッチングすることによって、第３電極４を形成してもよい。

[0062] 基板１において、第３電極４が形成された面に補助低誘電率層６を成膜する。補助低誘電率層６は、基板１よりも低い誘電率を有する。補助低誘電率層６の厚みは、第３電極４の厚みよりも大きい。

[0063] 基板１を支持板７と接合する。基板１における接合面は、第３電極４及び補助低誘電率層６が形成された側の面である。接合方法は、例えば、表面活

性化接合、原子拡散接合である。

[0064] 基板１における接合面とは反対側の面に加工を施し、基板１を所望の厚さまで薄くする。基板１の薄化方法は、例えば、Ｇｒｉｎｄ、ＣＭＰによる研磨である。この方法の他に、基板１に事前にイオンを注入することにより所望の膜厚で剥離層を設けておき、接合後に剥離を行い、ＧｒｉｎｄやＣＭＰで仕上げる方法によって、基板１を薄化してもよい。薄化後の基板１の厚みは１０μｍ以下である。

[0065] Ｔｉ拡散、プロトン交換法などによって、基板１に光導波路２を形成する。

[0066] 基板１において、光導波路２が形成された面上に、第１電極３１及び２つの第２電極３２を形成する。各電極３１及び３２の厚みは、厚いほど信号損失が低減されるため、厚い方が好ましい。左右にそれぞれ配置された第２電極３２の幅と厚みは、中央に配置された第１電極３１のそれと同じかそれ以上に大きいほうがよい。例えば、フォトリソグラフィ、蒸着、リフトオフなどでパターニングすることによって、各電極３１及び３２を形成できる。各電極３１及び３２の形成方法は、フォトリソグラフィ、メッキでもよい。蒸着、スパッタリング、ＣＶＤなどで成膜して、フォトリソグラフィでパターニングした後、エッチングすることによって、各電極３１及び３２を形成してもよい。

[0067] ［第１実施形態の変形例１］

図２～図４は、第１実施形態に係る光変調器１００の変形例１を示す模式図である。図２～図４には、光変調器１００の断面が示される。変形例１では、図１に示す光変調器１００から光導波路２に対する第１電極３１、第２電極３２及び第３電極４の形態が変更されている。

[0068] 図２に示す例では、光導波路２に対して、第１電極３１は、光導波路２の幅方向の両側のうちの一方の側（図２では、右）にずれていて、第３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２では、左）にずれている。この場合、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置が光導波路２の

幅方向の中心２ｃの位置と一致していない。第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していない。つまり、第１電極３１の中心３１ｃの位置、第３電極４の中心４ｃの位置、及び光導波路２の中心２ｃの位置が、幅方向で揃っていず、相互にずれている。

[0069] さらに、図２に示す例では、右側の第２電極３２と第１電極３１との間隔は、左側の第２電極３２と第１電極３１との間隔よりも小さい。つまり、２つの第２電極３２は、第１電極３１に対して光導波路２の幅方向に非対称に配置されている。

[0070] 図３に示す例では、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致している。第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致している。つまり、図１に示す光変調器１００と同様に、第１電極３１の中心３１ｃの位置、第３電極４の中心４ｃの位置、及び光導波路２の中心２ｃの位置が、幅方向で揃っていて、相互にずれていない。

[0071] さらに、図３に示す例では、右側の第２電極３２と第１電極３１との間隔は、左側の第２電極３２と第１電極３１との間隔よりも小さい。つまり、図２に示す変形例１の光変調器１００と同様に、２つの第２電極３２は、第１電極３１に対して光導波路２の幅方向に非対称に配置されている。

[0072] 図４に示す例では、光導波路２に対して、第１電極３１は、光導波路２の幅方向の両側のうちの一方の側（図４では、右）にずれていて、第３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４では、左）にずれている。この場合、図２に示す変形例１の光変調器１００と同様に、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していない。第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していない。

[0073] さらに、図４に示す例では、右側の第２電極３２と第１電極３１との間隔は、左側の第２電極３２と第１電極３１との間隔と同じである。つまり、図１に示す光変調器１００と同様に、２つの第２電極３２は、第１電極３１に

対して光導波路２の幅方向に対称配置されている。

[0074] ただし、変形例１では、光導波路２に対して、第１電極３１及び第３電極４のうちの一方のみが幅方向にずれていてもよい。つまり、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していず、第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していてもよい。第３電極４の幅方向の中心４ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していず、第１電極３１の幅方向の中心３１ｃの位置が光導波路２の幅方向の中心２ｃの位置と一致していてもよい。

[0075] ＜第２実施形態＞

図５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。

[0076] 図５を参照して、光変調器１００は、さらに、低誘電率層５を備える。具体的には、基板１の上に、低誘電率層５が積層されている。低誘電率層５は、第２電極３２と第３電極４との間に介在するように各第２電極３２の表面の少なくとも一部を覆っている。より具体的には、低誘電率層５は、第１電極３１と第２電極３２との間に設けられている。すなわち、低誘電率層５は、第１電極３１及び第２電極３２の各側面を直接覆っている。これにより、第２電極３２と第３電極４との間に低誘電率層５の一部が介在することになる。

[0077] 低誘電率層５の誘電率は、補助低誘電率層６と同様に光導波路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の材質は、補助低誘電率層６の材質と同じであってもよいし、異なっていてもよい。

[0078] 本実施形態の光変調器１００では、低誘電率層５が第２電極３２と第３電極４との間に介在するため、第２電極３２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、低誘電率層が設けられていない場合

と比較して、電気信号の感じる実効屈折率が低下する。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。

[0079] 本実施形態では、第１電極３１と第２電極３２との間に低誘電率層５が設けられている。ここで、第２電極３２が接地電極であると仮定した場合、第１電極３１と接地電極との間に大きな電位差が生じる。この場合、第１電極３１と接地電極との間に何らかの部材が設けられると、第１電極３１と接地電極との間で短絡が起こる危険性が高い。第１電極３１と接地電極との間で短絡が起これば、第１電極３１から光導波路２に向かう電界が弱まる。したがって、第２電極３２が接地電極であった場合、第１電極３１と接地電極との間に何らかの部材を設けることは考え難い。

[0080] この点、本実施形態では、第１電極３１及び第２電極３２に、相互に同じ位相の電圧が印加されるため、第１電極３１と第２電極３２との間に電位差が生じない。このため、第１電極３１と第２電極３２との間隔が小さくて、第２電極３２が第１電極３１に近接していても、第１電極３１と第２電極３２との間に低誘電率層５を設けることが可能になる。第１電極３１と第２電極３２との間隔は、電気信号の感じる実効屈折率が光導波路２を通過する光波の感じる実効屈折率に近くなるように設定すればよい。

[0081] ＜第３実施形態＞

図６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２実施形態の光変調器１００を変形したものである。

[0082] 図６を参照して、第１電極３１及び第２電極３２は、基板１の上方に配置されている。第１電極３１及び第２電極３２は、基板１の上に積層された低誘電率層５の内部に配置されている。図６に示す例では、低誘電率層５は、第１電極３１の下面、側面及び上面を直接覆っている。さらに、低誘電率層５は、各第２電極３２の下面、第１電極３１側の側面及び上面を直接覆っている。すなわち、低誘電率層５は、第２電極３２と第３電極４との間に介在

するように第２電極３２の表面の少なくとも一部を覆っている。また、低誘電率層５は、第１電極３１と第３電極４との間に介在するように第１電極３１の表面の少なくとも一部を覆っている。別の観点では、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の上面をすべて覆っている。

[0083] 本実施形態の光変調器１００では、低誘電率層５が、第２電極３２と第３電極４との間に介在するように第２電極３２の表面の少なくとも一部を覆っている。このため、第２実施形態と同様の効果が得られる。また、低誘電率層５は、第１電極３１と第３電極４との間に介在するように第１電極３１の表面の少なくとも一部を覆っている。特に、図６に示す例では、低誘電率層５が、光導波路２の上面及びその周辺の基板１の上面をすべて覆っていて、第１電極３１と光導波路２との間に低誘電率層５が介在している。さらに、第２電極３２と光導波路２との間に低誘電率層５が介在している。この場合、第２電極３２から光導波路２に向かう電界が低誘電率層５を通過し、さらに第１電極３１から光導波路２に向かう電界が低誘電率層５を通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率をより低下させることができる。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、変調周波数を高める効果が高い。

[0084] ［第２及び第３実施形態の変形例２］

図７～図９は、第２及び第３実施形態に係る光変調器１００の変形例２を示す模式図である。図７～図９には、光変調器１００の断面が示される。変形例２では、図５及び図６に示す光変調器１００から低誘電率層５の形態が変更されている。

[0085] 図７に示す例では、低誘電率層５は、第１電極３１の下面を直接覆っている。低誘電率層５は、各第２電極３２の下面を直接覆っている。

[0086] 図８に示す例では、低誘電率層５は、第１電極３１の下面及び側面を直接覆っている。低誘電率層５は、各第２電極３２の下面及び側面を直接覆っている。

[0087] 図９に示す例では、低誘電率層５は、第１電極３１の側面及び上面を直接

覆っている。低誘電率層５は、各第２電極３２の側面及び上面を直接覆っている。

[0088] ［第２及び第３実施形態の変形例３］

図１０～図１４は、第２及び第３実施形態に係る光変調器１００の変形例３を示す模式図である。図１０～図１４には、光変調器１００の断面が示される。変形例３では、図５～図９に示す光変調器１００から補助低誘電率層６の形態が変更されている。図１０に示す光変調器１００は、図５に示す光変調器１００に対応する。図１１に示す光変調器１００は、図６に示す光変調器１００に対応する。図１２に示す光変調器１００は、図７に示す光変調器１００に対応する。図１３に示す光変調器１００は、図８に示す光変調器１００に対応する。図１４に示す光変調器１００は、図９に示す光変調器１００に対応する。

[0089] 図１０～図１４に示す例では、いずれも、第３電極４は、基板１の下方に配置されている。第３電極４は、基板１の下に積層された補助低誘電率層６の内部に配置されている。このため、補助低誘電率層６は、第３電極４の下面、側面及び上面を直接覆っている。すなわち、補助低誘電率層６は、第２電極３２と第３電極４との間に介在するように第３電極４の表面の少なくとも一部を覆い、第１電極３１と第３電極４との間に介在するように第３電極４の表面の少なくとも一部を覆っている。

[0090] 変形例３の光変調器１００では、第２電極３２から光導波路２に向かう電界が補助低誘電率層６を通過し、さらに第１電極３１から光導波路２に向かう電界が補助低誘電率層６を通過する。これにより、電気信号の感じる実効屈折率をより低下させることができる。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、変調周波数を高める効果が高い。

[0091] ＜第４実施形態＞

図１５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１実施形態の光変調器１００を変形し

たものである。

[0092] 図１５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。

[0093] 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。

[0094] 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内に光をより閉じ込めることができる。さらに、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。

[0095] 本実施形態の構成は、第２及び第３実施形態の光変調器１００に適用してもよい。

[0096] ［第４実施形態の光変調器１００の製造方法］

以下、第４実施形態の光変調器１００の製造方法の一例を説明する。第４実施形態の光変調器１００において、基板１は、リッジ型の光導波路２を有する。このため、第４実施形態の光変調器１００の製造方法は、光導波路２の形成方法の点で第１実施形態の光変調器１００の製造方法と相違し、それ以外の点で第１実施形態の光変調器１００の製造方法と共通する。以下、相違点についてのみ述べる。第４実施形態の光変調器１００の製造方法では、フォトリソグラフィ、エッチングを利用することによって、薄化後の基板１に加工を施し、凸条を形成する。この凸条が光導波路２となる。

[0097] ＜第５実施形態＞

図１６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１～第３実施形態の光変調器１００を変形したものである。

[0098] 図１６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。光変調器１００の断面視において、光導波路２は、一体の低誘電率層５及び補助低誘電率層６の内部に配置されている。図１６に示す例では、低誘電率層５，６は、光導波路２の下面及び側面を直接覆っている。このため、低誘電率層５，６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。

[0099] 図１６に示す例において、一体の低誘電率層５，６は、さらに、光導波路２の上面を覆っていてもよい。

[0100] ＜第６実施形態＞

図１７は、第６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１実施形態の光変調器１００を変形したものであり、その第１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。

[0101] 図１７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。

[0102] 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３１Ａと、２つの第２電極３２Ａと、第３電極４Ａ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３１Ｂと、２つの第２電極３２Ｂと、第３電極４Ｂ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。

[0103] 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。第１電極３１Ａ，３１Ｂは、上記の第１電極３１に相当する。第２電極３２Ａ，３２Ｂは、上記の第２電極３２に相当する

。第３電極４Ａ，４Ｂは、上記の第３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。

[0104] 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。

[0105] 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。

[0106] 本実施形態の光変調器１０１では、補助低誘電率層６Ａ，６Ｂがなくてもよい。また、光変調器ユニット１００Ａ，１００Ｂにおいて、第２～第３実施形態のような低誘電率層５に相当する低誘電率層が設けられてもよい。また、本実施形態の光変調器１０１では、第５実施形態のように基板１Ａ，１Ｂがなくてもよい。

[0107] 本実施形態の光変調器１０１では、光導波路２Ａ，２ＢがＴｉ拡散によって形成されたものである。ただし、光導波路２Ａ，２Ｂがリッジ型であっても構わない。この場合、第４実施形態と同様の効果が得られる。

[0108] ＜第７実施形態＞

図１８及び図１９は、第７実施形態に係る光変調器１０１を示す模式図である。図１８には、光変調器１０１の断面が示される。図１９には、光変調器１０１を上方から見たときの平面が示される。本実施形態の光変調器１０１は、第６実施形態の光変調器１０１を変形したものである。

[0109] 図１８及び図１９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。この場合、光変調器１

０１の作動時、第１電極３１Ｂ及び２つの第２電極３２Ｂには、第１電極３１Ａ及び２つの第２電極３２Ａと逆の位相の電圧が印加される。

[0110] 本実施形態の光変調器１０１では、基板１Ａと基板１Ｂを共用することができる。光導波路２Ａ及び光導波路２Ｂは、共用された基板１Ａ，１Ｂに設けられる。このため、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。

[0111] ＜第８実施形態＞

図２０及び図２１は、第８実施形態に係る光変調器１０１を示す模式図である。図２０には、光変調器１０１の断面が示される。図２１には、光変調器１０１を上方から見たときの平面が示される。本実施形態の光変調器１０１は、第６実施形態の光変調器１０１を変形したものである。

[0112] 図２０及び図２１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ＬｉＴａO_3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、光変調器１０１の作動時、第１電極３１Ａ、第２電極３２Ａ、第１電極３１Ｂ及び第２電極３２Ｂには、相互に同じ位相の電圧が印加される。

[0113] 本実施形態の光変調器１０１では、第７実施形態と同様に、基板１Ａと基板１Ｂを共用することができる。光導波路２Ａ及び光導波路２Ｂは、共用された基板１Ａ，１Ｂに設けられる。

[0114] ２つの第２電極３２Ｂのうちの一方は、２つの第２電極３２Ａのうちの一方と一体に形成されている。つまり、互いに近い位置にある第２電極３２Ａと第２電極３２Ｂとが、電気的に一体である。この場合、２つの第２電極３２Ｂのうちの一つを、２つの第２電極３２Ａのうちの一つと共用することが

できる。このため、光導波路２Ａと光導波路２Ｂとの間隔をより小さくすることができる。この場合、光変調器１０１全体の幅をより狭めることができ、光変調器１０１の小型化をより実現することができる。

[0115] 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

[0116] １００，１０１：光変調器

１：基板

２：光導波路

３１：第１電極

３２：第２電極

４：第３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、を備え、

前記制御電極は、第１電極と、各々に前記第１電極と同じ位相の電圧が印加される２つの第２電極と、前記第１電極及び前記第２電極の群と電位差を形成する第３電極と、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、前記光導波路の厚み方向の一方側に設けられ、

前記２つの第２電極のうち、一方の第２電極は前記第１電極に対して前記光導波路の幅方向の一方側で前記第１電極と間隔をあけて設けられ、他方の第２電極は前記第１電極に対して前記光導波路の幅方向の他方側で前記第１電極と間隔をあけて設けられており、

前記第３電極は、前記光導波路の厚み方向の他方側に設けられている、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電極の幅方向の中心位置が前記光導波路の幅方向の中央部に位置し、前記第３電極の幅方向の中心位置が前記光導波路の幅方向の中央部に位置する、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２つの第２電極は、前記第１電極に対して前記光導波路の幅方向に対称配置されている、光変調器。

[請求項4] 請求項１～３のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記光導波路の幅方向において、一方の前記第２電極は、前記光導波路の一方側の端部から離隔されて配置され、他方の前記第２電極は、前記光導波路の他方側の端部から離隔されて配置されており、

前記光変調器は、さらに、

誘電率が前記光導波路よりも低い低誘電率層を備え、

前記低誘電率層は、前記第２電極と前記第３電極との間に介在するように前記第２電極の表面の少なくとも一部を覆う、光変調器。

[請求項5] 請求項４に記載の光変調器であって、

前記低誘電率層は、前記第１電極と前記第３電極との間に介在するように前記第１電極の表面の少なくとも一部を覆う、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、さらに、

誘電率が前記光導波路よりも低い補助低誘電率層を備え、

前記補助低誘電率層は、前記第２電極と前記第３電極との間に介在するように前記第３電極の表面の少なくとも一部を覆う、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、

前記光導波路の前記材料は、$LiNbO_3$である、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、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9] 請求項８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10] 請求項１～７のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記光導波路と、前記制御電極とをそれぞれ含み、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11] 請求項１０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12] 請求項１１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13] 請求項１１又は１２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第１電極及び前記第２電極には、前記他方の光変調器ユニットの前記第１電極及び前記第２電極と逆の位相の電圧が印加される、光変調器。

[請求項14] 請求項１１又は１２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、

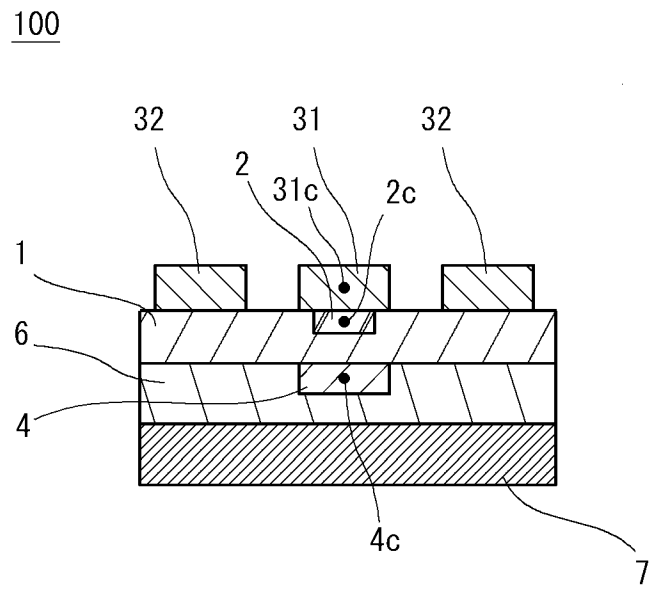
前記一方の光変調器ユニットの前記光導波路と、前記他方の光変調器ユニットの前記光導波路とは、相互に自発分極の向きが反転しており、

前記一方の光変調器ユニットの前記２つの第２電極の一方は、前記他方の光変調器ユニットの前記２つの第２電極の一方と一体に形成されており、

前記一方の光変調器ユニットの前記第１電極及び前記第２電極には、前記他方の光変調器ユニットの前記第１電極及び前記第２電極と相互に同じ位相の電圧が印加される、光変調器。

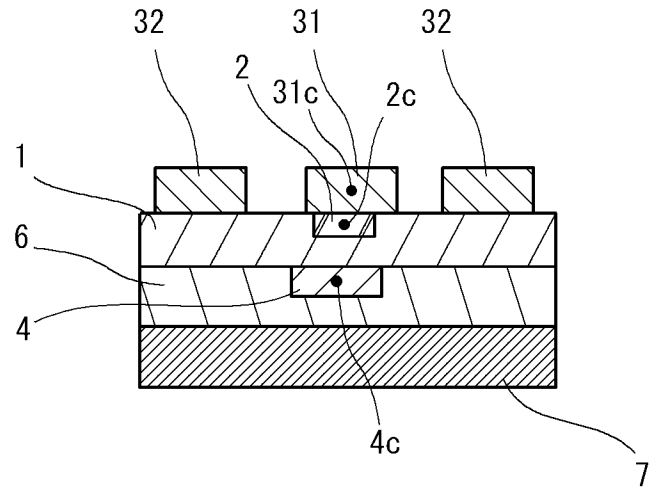
[図1]

FIG. 1



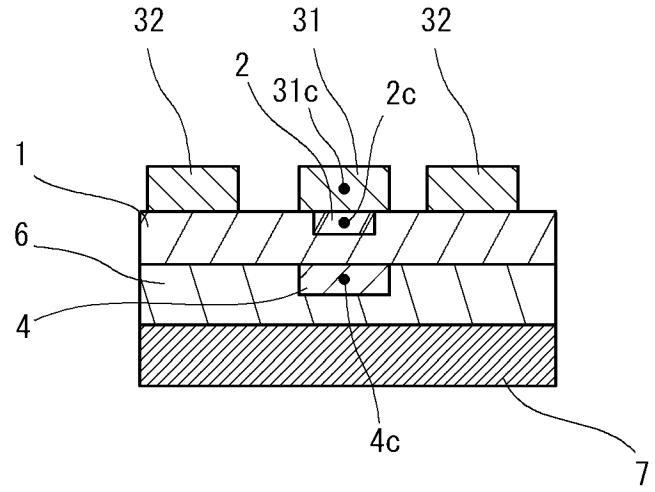
[図2]

FIG. 2



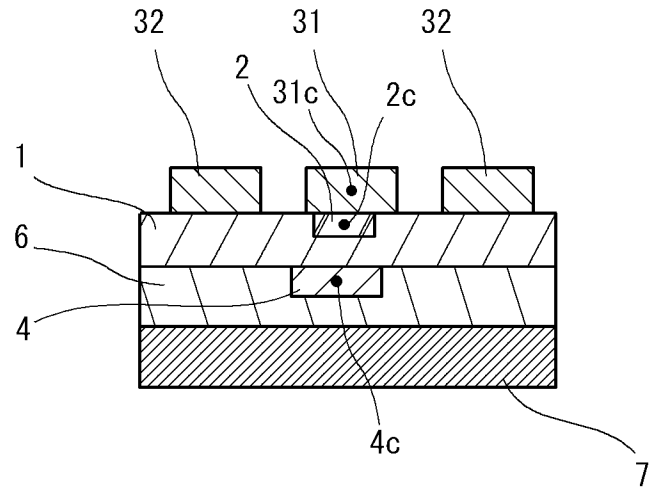
[図3]

FIG. 3



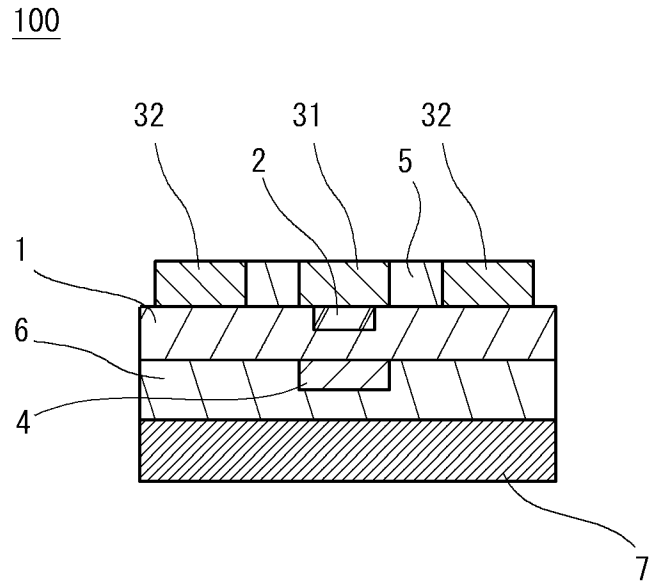
[図4]

FIG. 4



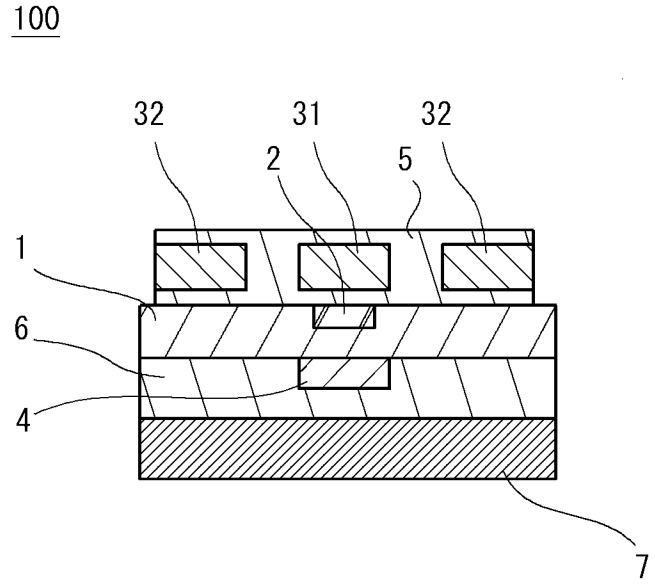
[図5]

FIG. 5



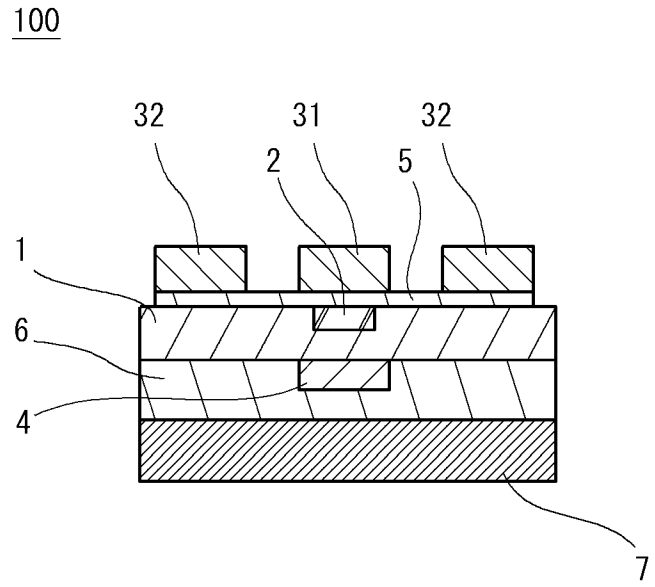
[図6]

FIG. 6



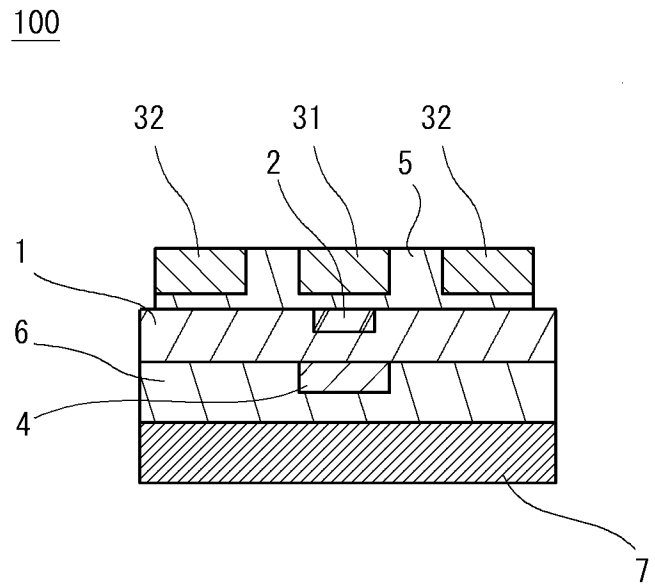
[図7]

FIG. 7



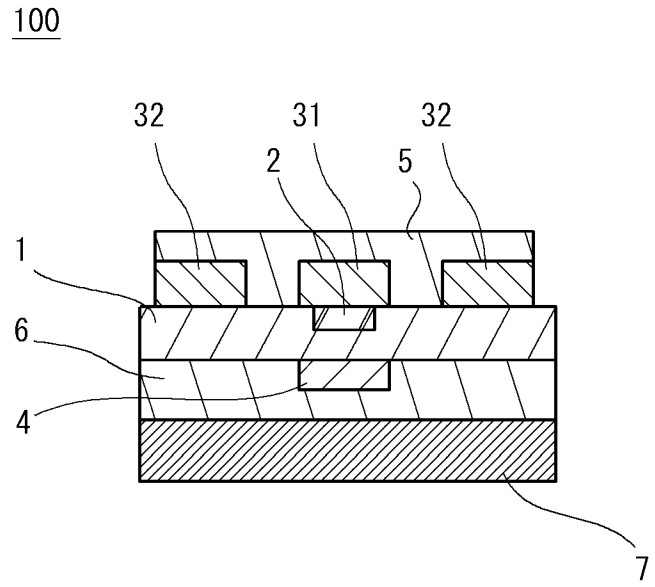
[図8]

FIG. 8



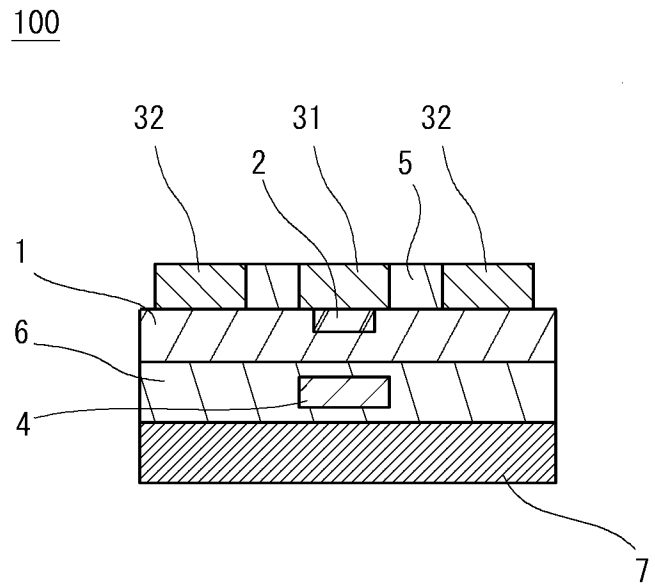
[図9]

FIG. 9



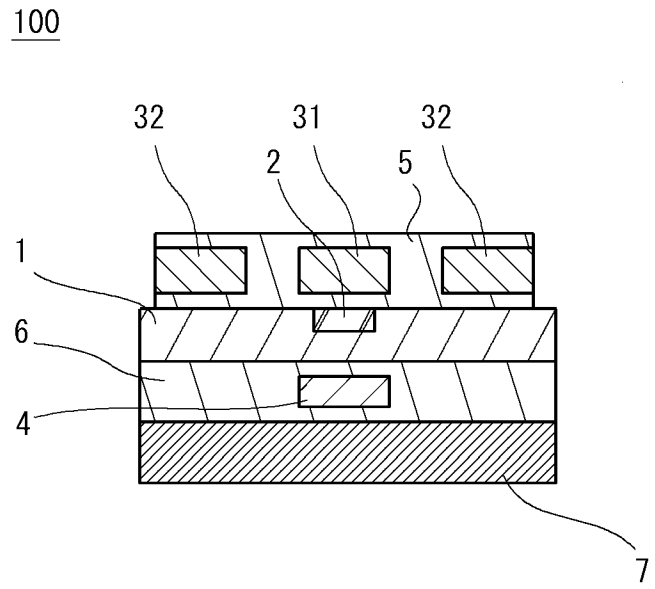
[図10]

FIG. 10



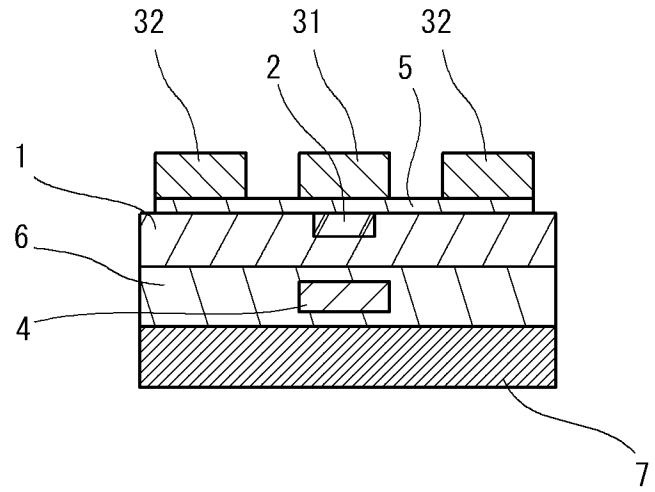
[図11]

FIG. 11



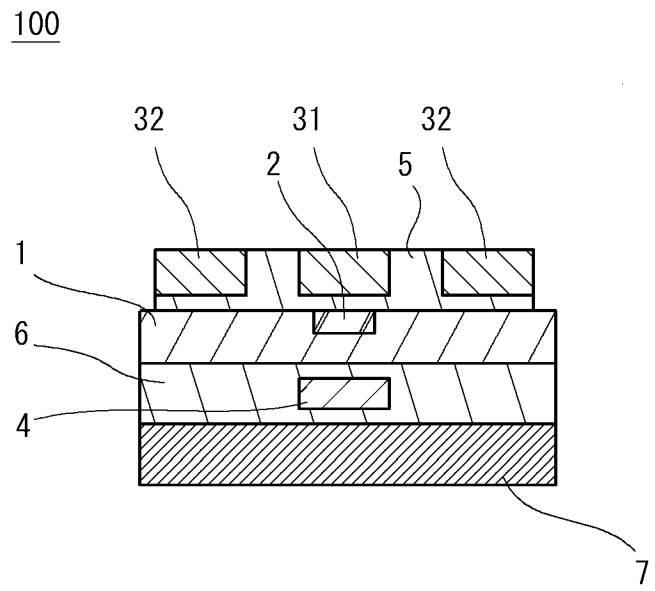
[図12]

FIG. 12



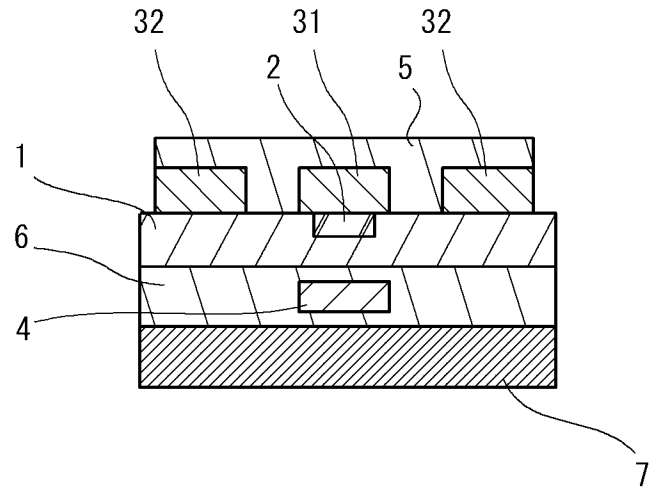
[図13]

FIG. 13



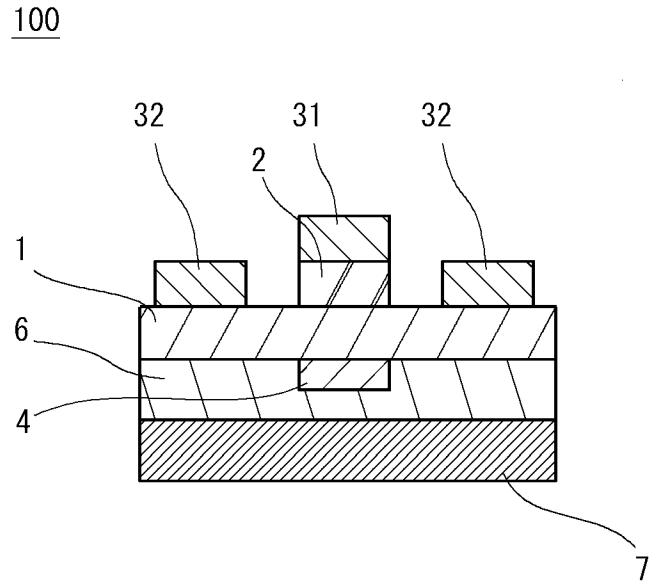
[図14]

FIG. 14



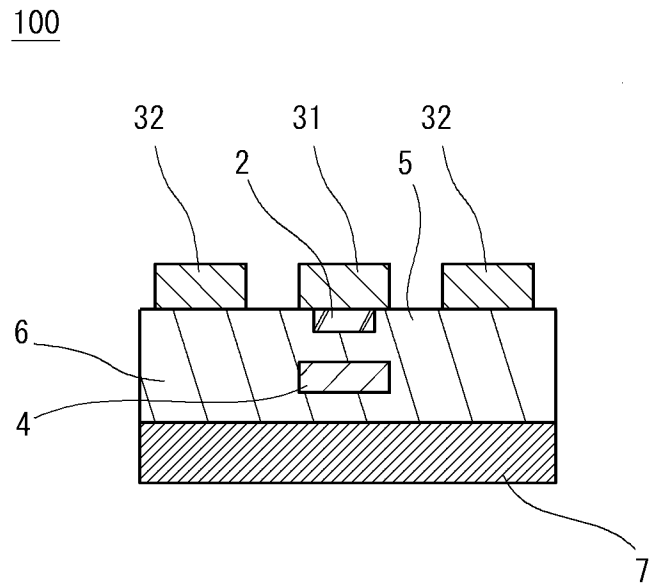
[図15]

FIG. 15



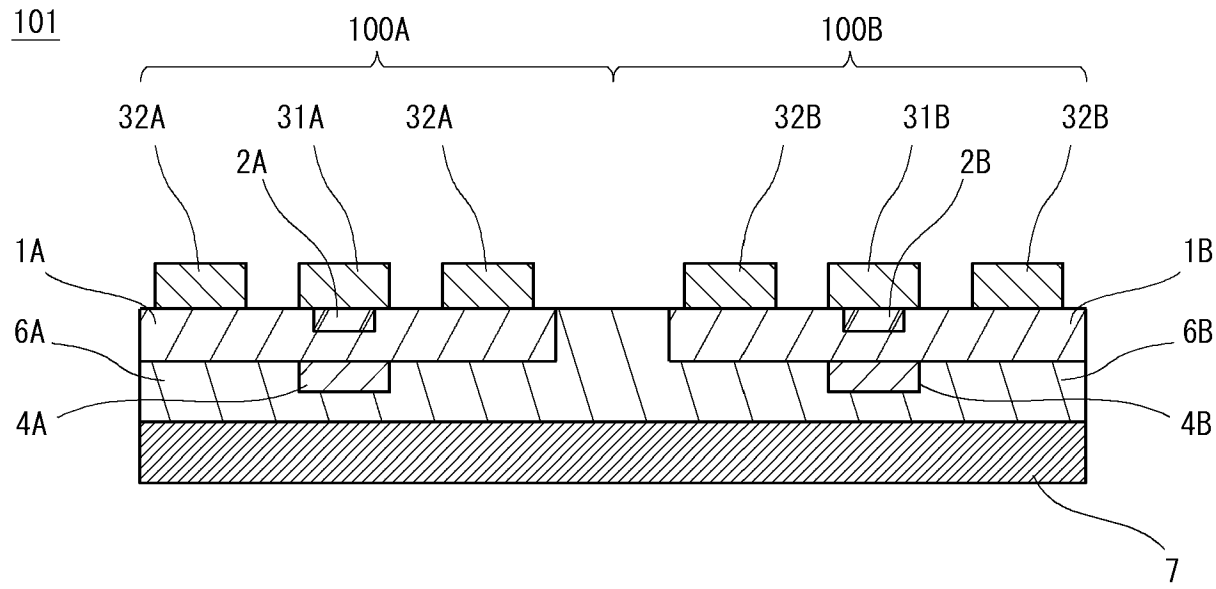
[図16]

FIG. 16



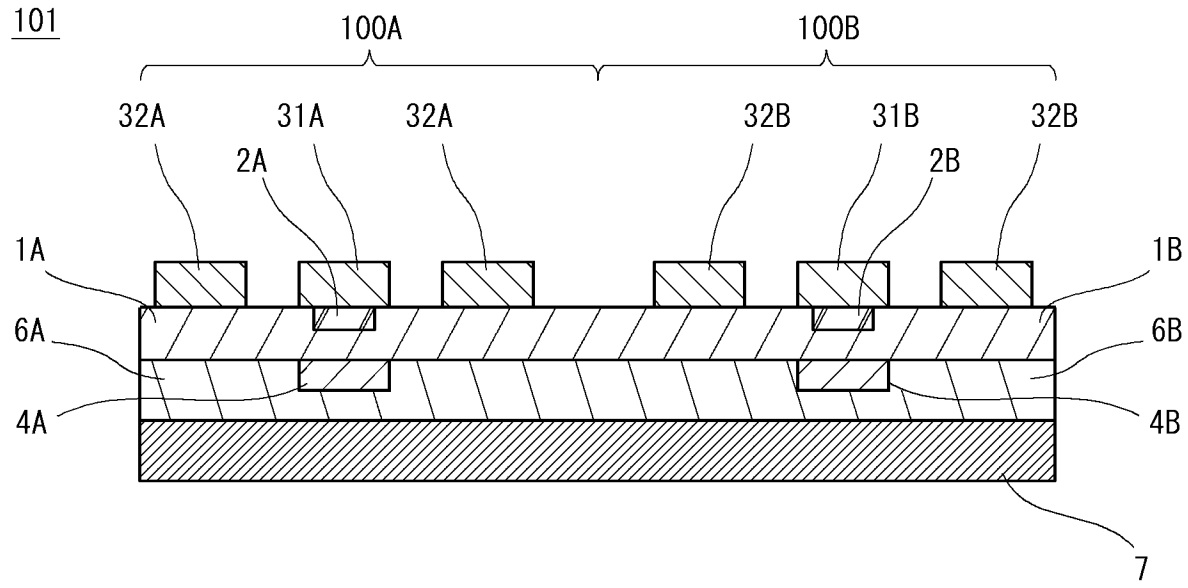
[図17]

FIG. 17

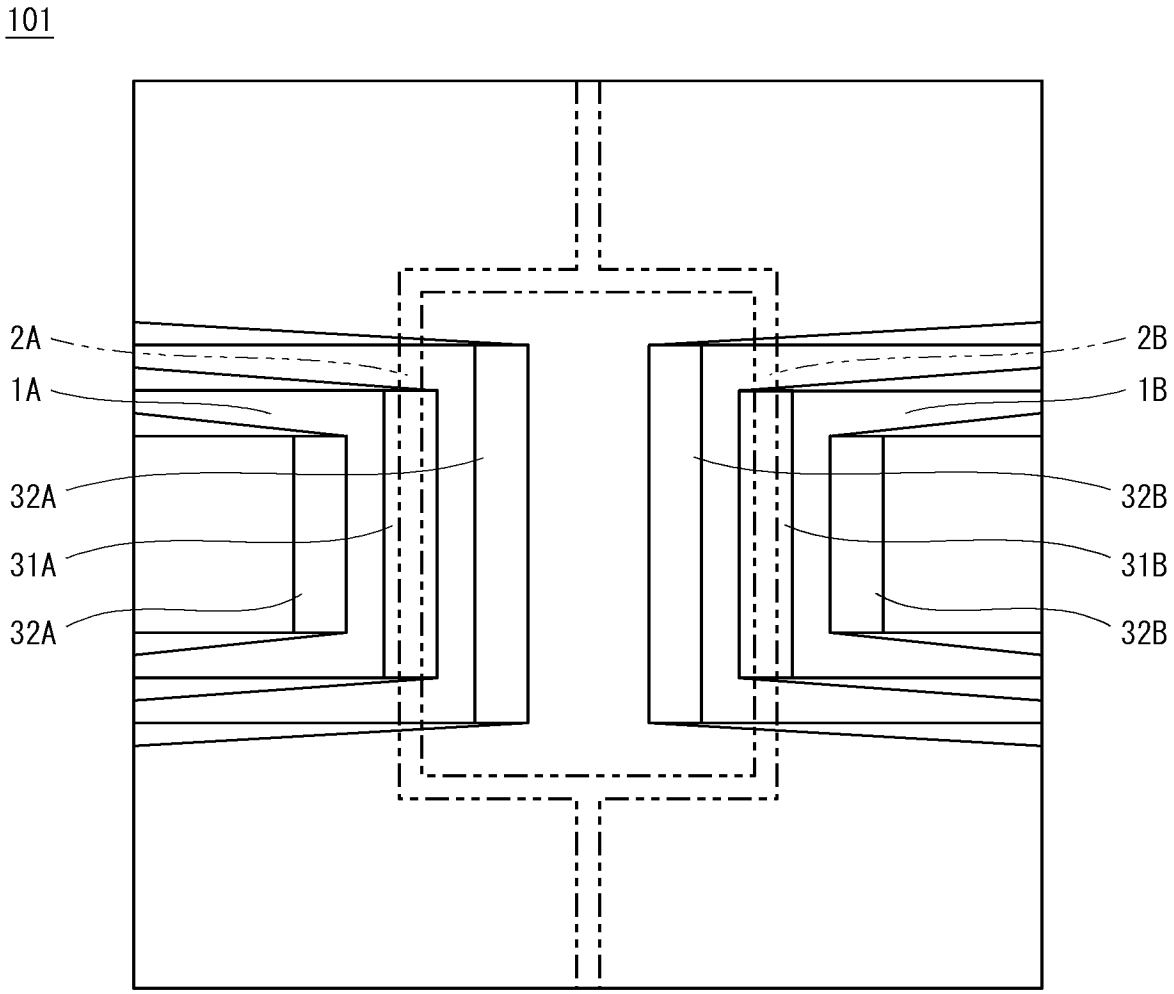


[図18]

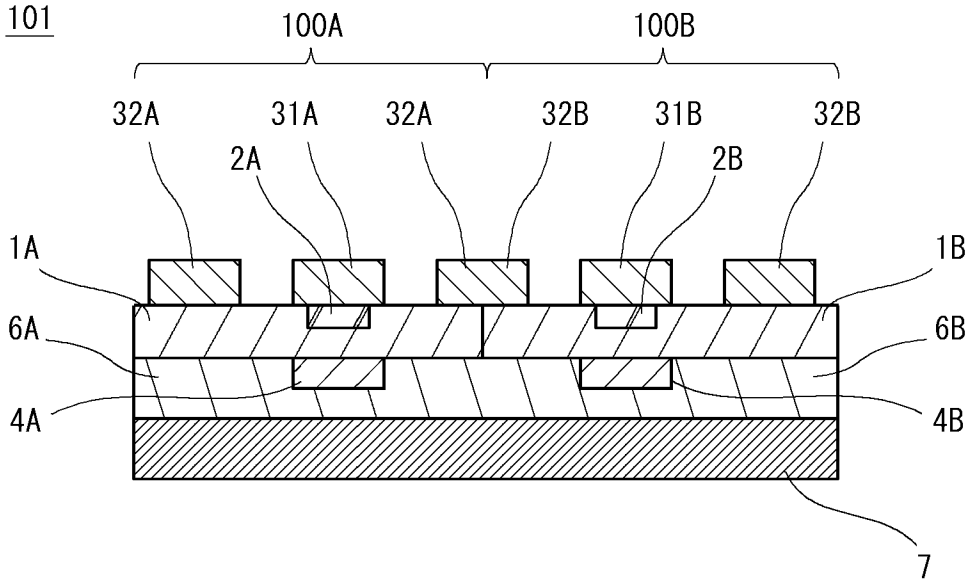
FIG. 18



[図19]
FIG. 19

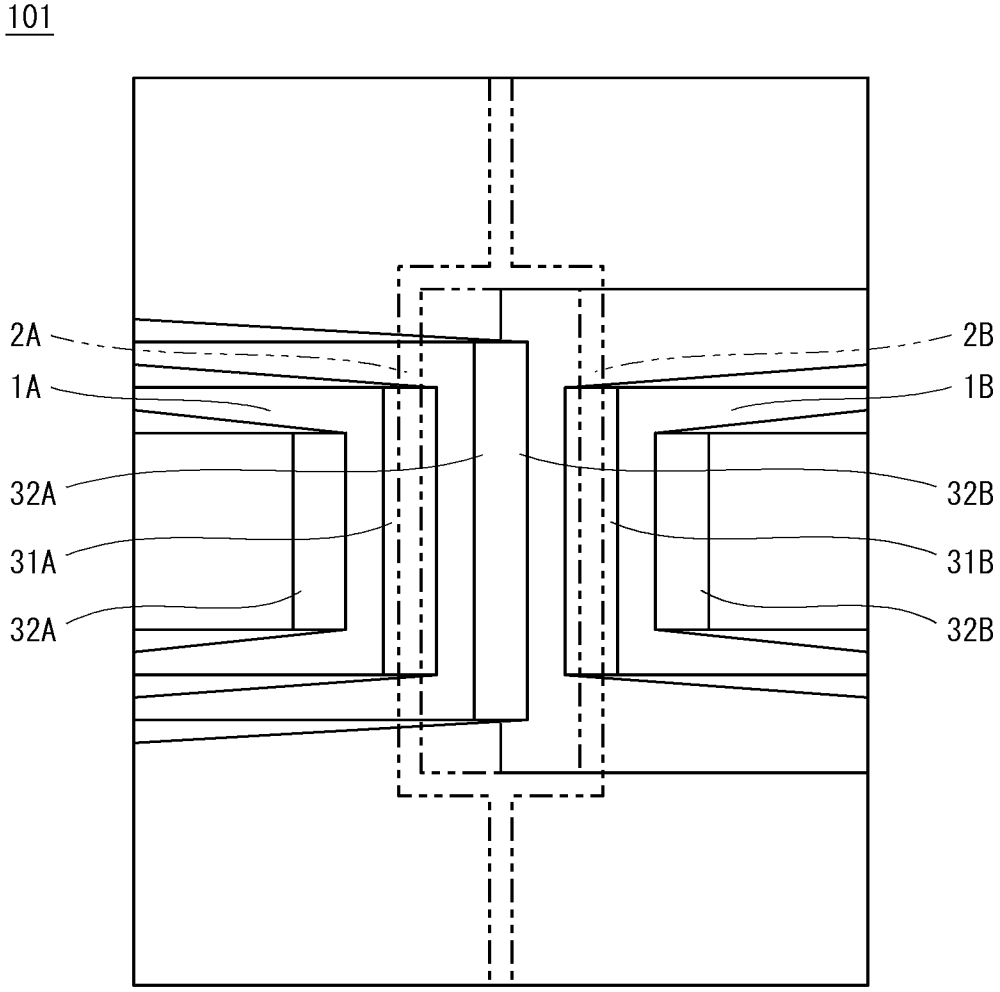


[図20]
FIG. 20



[図21]

FIG. 21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/043688

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.
Y	US 2003/0068111 A1 (CODEON CORPORATION) 10 April 2003 (2003-04-10) paragraphs [0037]-[0054], fig. 12	1-14
Y	JP 2008-250081 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD) 16 October 2008 (2008-10-16) paragraphs [0032]-[0062], [0067]-[0069], fig. 4, 7, 9-10, 17-18	1-14
A	JP 2004-062158 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 26 February 2004 (2004-02-26) paragraphs [0098]-[0111], fig. 16	1-14

☐ 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	Date of mailing of the international search report
19 January 2023	**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/JP2022/043688

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 2003/0068111 A1	10 April 2003	(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 2004-062158 A	26 February 2004	US 2003/0223669 A1 paragraphs [0141]-[0153], fig. 16 EP 1369741 A1 CN 1467539 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/043688

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

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

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）

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
Y	US 2003/0068111 A1 (CODEON CORPORATION) 10.04.2003 (2003-04-10) [0037]-[0054],図12	1-14
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	1-14
A	JP 2004-062158 A (松下電器産業株式会社) 26.02.2004 (2004-02-26) [0098]-[0111],図16	1-14

☐ 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	国際調査報告の発送日
19.01.2023	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/JP2022/043688

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 2003/0068111 A1	10.04.2003	（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 2004-062158 A	26.02.2004	US 2003/0223669 A1 [0141]-[0153],図16 EP 1369741 A1 CN 1467539 A	