(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
2024年6月6日(06.06.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/116447 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/12 (2006.01) *G02F 1/035* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/022849

(22) 国際出願日： 2023年6月21日(21.06.2023)

(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 2022-192106 2022年11月30日(30.11.2022) 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, MU, 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.

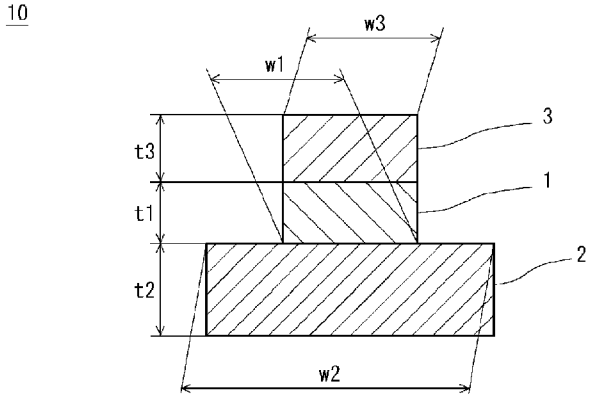
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能)：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, 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：
— 国際調査報告（条約第21条(3)）

(54) Title: OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称： 光変調器

FIG. 1



(57) Abstract: An optical modulator (10) comprising an optical waveguide (1) made of a material having an electro-optic effect, a first electrode (2), and a second electrode (3). The first electrode (2) is made of a semiconductor material. The second electrode (3) is made of a metal material and is arranged so as to form a potential difference with the first electrode (2) and apply an electric field to the optical waveguide (1).

(57) 要約：光変調器（１０）は、電気光学効果を有する材料からなる光導波路（１）と、第１電極（２）と、第２電極（３）とを備える。第１電極（２）は、半導体材料からなる。第２電極（３）は、金属材料からなり、第１電極（２）と電位差を形成して光導波路（１）に電界を印加するように配置される。

WO 2024/116447 A1

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、特許文献１及び非特許文献１に記載されている。特許文献１の光変調器は、スロット導波路の構造を有するコア部を備える。コア部は、上部高屈折率層と、下部高屈折率層と、これらの高屈折率層の間隙（スロット）に設けられた低屈折率層とを有している。上部及び下部高屈折率層の屈折率は、低屈折率層の屈折率よりも大きい。上部及び下部高屈折率層は、それぞれ、コンタクト領域を有する。コンタクト領域の各々に金属電極が接続されている。

[0004]　非特許文献１の光変調器は、光導波路と、２つの金属電極とを備える。光導波路は２つの金属電極の間に配置される。例えば、一方の金属電極、光導波路及び他方の金属電極が並列に配置される。あるいは、一方の金属電極が光導波路に積層され、他方の金属電極がその反対側で光導波路に積層される。２つの電極は、光導波路に電界を印加するように配置される。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０２０－０３４６１０号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ　ｌｉｔｈｉｕｍ　ｎｉｏｂａｔｅ　ｅ

lectro－optic modulators: when performance meets scalability, Mian Zhangほか, Optica Vol. 8, Issue 5, pp. 652－667（2021）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 消費電力を抑えつつ広帯域且つ高周波の信号を電極に印加するためには、電極の厚みが大きいことが好ましい。しかしながら、従来の光変調器のように電極が金属材料を用いて形成される場合、電極の厚みを大きくすると電極に大きな内部応力が生じる。この内部応力に起因して、電極にクラックが発生しやすい。特に、２つの金属電極が光導波路の両側に積層して配置される場合、各電極には、両電極を同一の方向に反り変形させるような内部応力が生じる。そのため、光導波路が両電極と一緒に反り変形し、光導波路にもクラックが発生しやすい。

[0008] 本開示の目的は、クラックの発生を抑制し、消費電力を抑えながら電気信号を電極に印加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

[0009] 本開示に係る光変調器は、光導波路と、第１電極と、第２電極とを備える。光導波路は、電気光学効果を有する材料からなる。第１電極は、半導体材料からなる。第２電極は、金属材料からなり、第１電極と電位差を形成して光導波路に電界を印加するように配置される。

発明の効果

[0010] 本開示に係る光変調器によれば、クラックの発生を抑制し、消費電力を抑えながら電気信号を電極に印加することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１は、第１実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図2]図２は、第２実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図3]図３は、第３実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図4]図４は、第４実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図5]図５は、第５実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図6]図６は、第５実施形態に係る光変調器の変形例を示す図である。

[図7]図７は、第６実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図8]図８は、第７実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図9]図９は、第８実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図10]図１０は、第９実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図11]図１１は、第１０実施形態に係る光変調器の概略構成を示す断面図である。

[図12]図１２は、第１０実施形態に係る光変調器の変形例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 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。

[0013] 本開示の実施形態に係る光変調器は、光導波路と、第１電極と、第２電極とを備える。光導波路は、電気光学効果を有する材料からなる。第１電極は、半導体材料からなる。第２電極は、金属材料からなり、第１電極と電位差を形成して光導波路に電界を印加するように配置される（第１の構成）。

[0014] 第１の構成では、光導波路に電界を印加する第１電極及び第２電極のうち、第１電極が半導体材料からなる半導体電極である。半導体電極は、金属電極と比較して、内部応力を抑えつつ、厚く形成することが可能である。半導体電極を厚く形成することにより、消費電力を抑えつつ広帯域且つ高周波の信号を半導体電極に印加することができる。また、半導体電極は内部応力を抑えながら形成することが可能であるため、内部応力に起因するクラックの発生を抑制することができる。

[0015] 第１の構成では、光導波路に電界を印加する第１電極及び第２電極のうち、第２電極が金属材料からなる金属電極である。第２電極を構成する金属材料は、半導体材料よりも導電率が高い。そのため、第１電極及び第２電極の双方が半導体電極である場合と比較して、電気的な損失を抑制することができる。

[0016] 第１の構成の光変調器は、さらに、光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備えていてもよい。この場合、第１電極及び第２電極のうち少なくとも第１電極は、光導波路と隙間をあけて配置され、低誘電率層は、その隙間に設けられていてもよい（第２の構成）。第１電極及び第２電極は、それぞれ光導波路と隙間をあけて配置され、低誘電率層は、各隙間に設けられていてもよい（第３の構成）。

[0017] 第２の構成では、少なくとも半導体電極である第１電極が光導波路と隙間をあけて配置されている。この場合、第１電極は光導波路と接触していない。さらに、第１電極と光導波路との隙間には、光導波路よりも屈折率が小さい低誘電率層が設けられている。これにより、光導波路を通過する光が第１電極に対して漏れにくくなり、光の損失を抑制することができる。

[0018] 第３の構成では、第１電極及び第２電極の双方が光導波路と隙間をあけて配置されている。さらに、第１電極と光導波路との隙間、及び第２電極と光導波路との隙間には、それぞれ光導波路よりも屈折率が小さい低誘電率層が設けられている。これにより、光導波路を通過する光が第１電極及び第２電極の各々に対して漏れにくくなり、光の損失をより抑制することができる。

[0019] 第２又は第３の構成の光変調器において、好ましくは、隙間の大きさは、０．７５０μｍ以上、１．６７５μｍ以下である（第４の構成）。

[0020] 光導波路から低誘電率層に微弱ながら光がしみ出す。このしみ出した光は、エバネッセント光と称される。第４の構成のように、第１電極及び／又は第２電極と光導波路との隙間の大きさが０．７５０μｍ以上であれば、エバネッセント光が第１電極及び／又は第２電極に接触しにくくなり、光の損失をより抑制することができる。

[0021] 第４の構成では、第１電極及び／又は第２電極と光導波路との隙間の大きさが１．６７５μｍ以下となっている。この場合、第１電極及び／又は第２電極と光導波路との距離が大きくなり過ぎず、第１電極と第２電極との間に印加する電圧を大きくしなくても、光導波路に対する電界の大きさを確保することができる。

[0022] 第２～第４の構成のいずれか１つの光変調器において、半導体材料は、シリコンに不純物がドープされたシリコン半導体材料であり、低誘電率層の主成分がSiO_2であってもよい（第５の構成）。半導体材料がシリコン半導体材料であるため、第１電極と光導波路との隙間に低誘電率層が設けられる場合は、熱酸化法によりSiO_2の低誘電率層をシリコン半導体材料の第１電極上に成膜することができる。熱酸化法による成膜では、第１電極に対する低誘電率層の密着性が良く、第１電極と低誘電率層との界面に異物が入りにくい。このため、第１電極と低誘電率層との界面において、電気的な損失を抑制することができる。また、第１電極と低誘電率層との界面で異物の集積が抑えられるため、光変調器の信頼性及び寿命の向上を図ることができる。

[0023] 第１～第５の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、第１電極は、光導波路に積層され、第２電極は、第１電極の反対側で光導波路に積層されている（第６の構成）。この場合、第１電極、光導波路、及び第２電極の積層方向において、第１電極と第２電極との間に光導波路が存在する。そのため、第１電極及び第２電極による電界を光導波路に対して効率よく印加することができる。

[0024] 第６の構成の光変調器において、第１電極は、凸部を含んでいてもよい。凸部は、第１電極、光導波路、及び第２電極の積層方向において光導波路側に位置する表面に設けられ、光導波路に向かって突出する（第７の構成）。この場合、凸部により電界を光導波路に集中させることができる。このため、第１電極と第２電極との間に印加する電圧を小さくすることができ、消費電力をより抑えることができる。

[0025] 第７の構成の光変調器において、光導波路の延びる方向に垂直な断面で見

たとき、積層方向に垂直な方向における凸部の長さは、光導波路に近いほど小さくてもよい（第８の構成）。例えば、凸部が断面視で矩形状を有する場合、第１電極の光導波路側の表面の他の部分に対して凸部の側面が直角で連続する。一方、第８の構成のように、電極及び光導波路の積層方向に垂直な方向における凸部の長さが光導波路に近づくほど小さくなる場合、第１電極の光導波路側の表面の他の部分に対して凸部の側面を比較的緩やかに連続させることができる。これにより、凸部と他の部分との境界で電気的な損失を生じにくくすることができる。

[0026] 第６～第８の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、光導波路の延びる方向に垂直な断面で見たとき、第１電極、光導波路、及び第２電極の積層方向に垂直な方向において、第１電極の光導波路側の表面の長さは、光導波路の長さよりも大きい（第９の構成）。この場合、光導波路の全域に電界を印加することができる。

[0027] 第１～第９の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、第１電極における半導体材料は、シリコンに不純物がドープされたシリコン半導体材料である（第１０の構成）。

[0028] 第１０の構成の光変調器において、好ましくは、第１電極における不純物の濃度は、１．０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以上、１．０×10^{22}ｃｍ$^{-3}$以下である（第１１の構成）。第１電極では、不純物の増加に伴って、抵抗率が小さくなり、導電率が大きくなる。不純物の濃度が１．０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以上であれば、第１電極を電極として効果的に機能させることができる。不純物の濃度が１．０×10^{22}ｃｍ$^{-3}$以下であれば、不純物の析出を防止することができる。

[0029] 第１～第１１の構成のいずれか１つの光変調器において、第１電極の屈折率が３よりも小さい（第１２の構成）。この場合、例えば第１１の構成の不純物の濃度（ドーピング量）に対応して、第１電極の屈折率が３よりも小さくなる。

[0030] 第１０～第１２の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、

第１電極は、シリコン単結晶基板である（第１３の構成）。

[0031] 第１０～第１２の構成のいずれか１つの光変調器において、第１電極は、ＳＯＩ基板の活性層であってもよい（第１４の構成）。

[0032] 第１～第１４の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、金属材料は、その主成分が貴金属である（第１５の構成）。この場合、第２電極を構成する金属材料が、化学反応しにくい貴金属を主成分とするため、光変調器の変調特性が安定する。さらに、第２電極を構成する金属材料の主成分が貴金属であれば、第２電極の抵抗値を抑えることができ、消費電力を抑えることができる。

[0033] 第１～第１５の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、光導波路の延びる方向に垂直な断面で見たとき、第１電極の面積が第２電極の面積よりも大きい（第１６の構成）。第２電極は、金属材料からなるため、断面積を大きくしなくても、抵抗値が十分に小さい。一方、第１電極は、金属材料よりも導電率が小さい半導体材料からなるため、第２電極よりも断面積を大きくすることで、抵抗値を小さくすることができる。この点、第１６の構成では、第１電極の断面積が第２電極の断面積よりも大きいため、第１電極の抵抗値が小さくなり、消費電力を抑えることができる。

[0034] 第１～第１６の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、第２電極が信号電極であり、第１電極が接地電極である（第１７の構成）。すなわち、金属電極である第２電極が信号電極に用いられ、半導体電極である第１電極が接地電極に用いられる。第２電極は、導電率が大きくて、高周波信号の減衰が小さい金属材料からなる。この第２電極を信号電極とすれば、駆動電圧を抑えることができる。

[0035] 第１～第１７の構成のいずれか１つの光変調器は、さらに、第１電極よりも厚みの薄い金属薄膜を備えていてもよい。金属薄膜は、第１電極の光導波路側の表面に設けられる（第１８の構成）。金属薄層は、導電率が大きく、高周波信号の減衰が小さい。この金属薄層を第１電極の光導波路側の表面に設ければ、駆動電圧を抑えることができる。さらに、第１電極において、表

皮効果により、高周波信号はより表層を伝って伝搬するため、表層付近の導電率がより大きい方が好ましい。この点、金属薄層を第１電極の光導波路側の表面に設ければ、抵抗率を小さくすることができ、信号の減衰を抑えることができる。

[0036] 第１～第１８の構成のいずれか１つの光変調器において、好ましくは、第１電極のうち光導波路側の表層には、第１電極の他の部分と比較して高い濃度で不純物がドープされている（第１９の構成）。この場合、第１電極において、光導波路の近傍に導電率の大きい領域を局在させることができ、表皮効果によって高周波信号の減衰を抑えることができる。

[0037] 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、重複する説明を繰り返さない。

[0038] ＜第１実施形態＞

［光変調器の構成］

図１は、第１実施形態に係る光変調器１０の概略構成を示す断面図である。光変調器１０は、光導波路１と、第１電極２と、第２電極３とを備える。図１では、光導波路１の延びる方向に垂直な断面が示されている。本明細書において、特に断りがない限り、断面は、光導波路１の延びる方向に垂直な断面を意味する。

[0039] 図１に示すように、光導波路１は、実質的に矩形状の断面を有していてもよい。光導波路１は、電気光学効果を有する材料からなる。光導波路１は、光の伝送路として機能する。光導波路１として、$LiNbO_3$（ニオブ酸リチウム）、$LiTaO_3$（タンタル酸リチウム）、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）、又は$BaTiO_3$（チタン酸バリウム）等が用いられる。光導波路１として、電気光学ポリマー（ＥＯポリマー）が用いられてもよい。

[0040] 第１電極２及び第２電極３は、光導波路１を通過する光を制御するための制御電極として機能する。第１電極２及び第２電極３の各々は、実質的に矩

形状の断面を有していてもよい。第１電極２及び第２電極３は、互いの間に電位差を形成して光導波路１に電界を印加するように配置されている。光導波路１は、第１電極２と第２電極３との間に配置されている。

[0041] 本実施形態の例において、第１電極２は、光導波路１に積層されている。第２電極３は、第１電極２の反対側で光導波路１に積層されている。別の観点では、第１電極２及び第２電極３は、光導波路１を挟むように配置されている。本実施形態では、第１電極２上に光導波路１が直接積層され、第１電極２が光導波路１と接触している。さらに、光導波路１上に第２電極３が直接積層され、第２電極３が光導波路１と接触している。

[0042] 第１電極２は、半導体材料からなる。すなわち、第１電極２は半導体電極である。第１電極２に用いられる半導体材料は、典型的には、Ｓｉ（シリコン）に不純物がドープされたシリコン半導体材料である。半導体材料として、例えば、Ｇｅ（ゲルマニウム）等を用いた他の単元素半導体、又はＧａＡｓ（ガリウム砒素）等の化合物半導体が用いられてもよい。不純物は、ｐ型不純物及びｎ型不純物のいずれでもよい。例えば、半導体材料がシリコン半導体材料である場合、ｐ型不純物として、ホウ素等の第３族元素が用いられ、ｎ型不純物として、リン、砒素、アンチモン等の第５族元素が用いられる。

[0043] 第１電極２に用いられる半導体材料がシリコン半導体材料である場合、第１電極２における不純物の濃度（ドーピング量）は、好ましくは、１．０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以上、１．０×10^{22}ｃｍ$^{-3}$以下である。不純物のドーピング量の増加に伴って、半導体材料の抵抗率が小さくなり、導電率が大きくなる。ドーピング量が１．０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以上であれば、第１電極２を電極として効果的に機能させることができる。ドーピング量が１．０×10^{22}ｃｍ$^{-3}$以下であれば、シリコン半導体材料における不純物の固溶限界より、不純物の析出を防止することができる。ドーピング量の増加に伴って、第１電極２の屈折率は低下する。例えば、第１電極２の屈折率は３よりも小さい。

[0044] 以下、上述したドーピング量の範囲について、より詳しく説明する。ドー

ピング量の上限が１．０×１０^{22}ｃｍ$^{-3}$であるのが好ましい理由は、シリコン半導体材料における不純物の固溶限界に基づく。第１電極２において、ドーピング量が固溶限界である１．０×１０^{22}ｃｍ$^{-3}$を超えると、不純物が析出し、第１電極２及び光変調器１０の信頼性が低下する。一方、ドーピング量の下限が１．０×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$であるのが好ましい理由は、以下の通りである。電極の厚み及び幅を設計する際の指標として、表皮深さがある。電極の厚み及び幅が表皮深さよりも小さいと、抵抗値が上昇する。このため、電極の厚み及び幅を表皮深さ以上とするのが好ましい。１ＧＨｚ以上の周波数信号を扱う光変調器の運用を考慮する場合、ドーピング量が１．０×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$であるとき、導電率は１０００Ｓ／ｍであり、表皮深さは５００μｍとなる。例えば、微細加工によってシリコン半導体材料から電極を形成することを考慮すると、電極の厚みとしては５００μｍ程度が限界である。そうすると、電極としての性能を確保する観点から、１０００Ｓ／ｍ以上の導電率を有する電極を得るためには、ドーピング量を１．０×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以上とすればよい。

[0045] 第１電極２は、例えばシリコン単結晶基板である。不純物は、例えば、第１電極２の素材となるシリコン単結晶の母材基板に予めドープされている。この母材基板を別の基板上に配置してパターニング（エッチング、ダイシング等）することによって、第１電極２を形成できる。第１電極２は、ＳＯＩ（Ｓｉｌｉｃｏｎ　ｏｎ　Ｉｎｓｕｌａｔｏｒ）基板の活性層であってもよい。この場合、ＳＯＩ基板の活性層をパターニング（エッチング、ダイシング等）することによって、第１電極２を形成できる。このようにして形成された第１電極２に対して、熱拡散法、又はイオン注入法等によって、不純物をさらに導入してもよい。

[0046] 第１電極２は、基板上に形成された半導体シリコン層であってもよい。例えば、スパッタリング、蒸着、又はＣＶＤ等によって、基板上にシリコン層を形成できる。このシリコン層に対して、熱拡散法、又はイオン注入法等によって不純物を導入して、第１電極２としての半導体シリコン層を形成でき

る。

[0047] 第２電極３は、金属材料からなる。すなわち、第２電極３は金属電極である。第２電極３に用いられる金属材料は、例えば、その主成分が貴金属である。貴金属は、例えばＡｕ（金）である。貴金属として、Ａｇ（銀）、Ｐｔ（プラチナ）等が用いられてもよい。金属材料には、Ｃｒ、Ｔｉ等の他の金属元素が微量に含まれていてもよい。金属材料として、銅、アルミニウム、又はこれらの合金等が用いられてもよい。

[0048] 第２電極３は、例えば、次のようにして光導波路１及び第１電極２に対して積層することができる。まず、電気光学効果を有する材料基板を第１電極２上に配置し、材料基板を第１電極２と接着する。そして、材料基板にリソグラフィ及びエッチングを施し、光導波路１を形成する。次に、スパッタリング、蒸着等により、光導波路１上に金属層を成膜する。成膜された金属膜に対し、リソグラフィによりパターニングし、エッチングにより第２電極３を形成する。

[0049] 第２電極３は、信号電極として用いられ、第１電極２は、接地電極として用いられる。これとは逆に、第１電極２が信号電極として用いられ、第２電極３が接地電極として用いられてもよい。

[0050] 図１に示す例において、光導波路１は、光導波路１及び電極２，３の積層方向の長さに相当する厚みｔ１、及び積層方向に垂直な方向の長さに相当する幅ｗ１を有する。第１電極２は、積層方向の長さに相当する厚みｔ２、及び積層方向に垂直な方向の長さに相当する幅ｗ２を有する。第２電極３は、積層方向の長さに相当する厚みｔ３、及び積層方向に垂直な方向の長さに相当する幅ｗ３を有する。

[0051] 光導波路１の延びる方向に垂直な断面で見たとき、第１電極２の面積は、第２電極３の面積よりも大きい。具体的には、半導体電極である第１電極２の断面積が、金属電極である第２電極３の断面積よりも大きい。第１電極２の断面積及び第２電極３の断面積は、好ましくは、第１電極２の抵抗値が第２電極３の抵抗値と実質的に一致するように設定される。すなわち、第１電

極２の電極としての性能は、第２電極３と同等であることが好ましい。例えば、第１電極２の断面積は、「（第２電極３の導電率／第１電極２の導電率）×第２電極３の断面積」とすることができる。

[0052] 第１電極２の幅ｗ２が第２電極３の幅ｗ３と同一である条件下では、第１電極２の抵抗値を第２電極３の抵抗値と一致させるため、第１電極２における導電率と厚みｔ２の積は、第２電極３における導電率と厚みｔ３の積と一致すればよい。例えば、第２電極３における金属材料がＡｕである場合、通常、第２電極３の厚みｔ３は、０．１μｍ以上、２．０μｍ以下とされ、その導電率は、４．３×１０^{7}Ｓ／ｍである。一方、第１電極２の導電率は第２電極３の導電率よりも小さいため、第１電極２の厚みｔ２は第２電極３の厚みｔ３よりも大きくなる。第１電極２の導電率は、不純物のドーピング量に応じて変化する。

[0053] 例えば、第１電極２がシリコン半導体材料で構成されている場合において、不純物のドーピング量が上限の１．０×１０^{22}ｃｍ$^{-3}$であるとき、第１電極２の導電率は１×１０^{7}Ｓ／ｍとなる。このとき、第２電極３の導電率を第１電極２の導電率で除した値は４．３であり、第１電極２の厚みｔ２は、第２電極３の厚みｔ３の４．３倍とすることができる。一方、不純物のドーピング量が下限の１．０×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$であるとき、第１電極２の導電率は１０００Ｓ／ｍとなる。このとき、第２電極３の導電率を第１電極２の導電率で除した値は４．３×１０^{3}であり、第１電極２の厚みｔ２は、第２電極３の厚みｔ３の４．３×１０^{3}倍とすることができる。

[0054] したがって、第１電極２の厚みｔ２の下限は、第２電極３の厚みｔ３の下限である０．１μｍの４．３倍とすることができる。すなわち、第１電極２の厚みｔ２は、０．４３μｍ以上とすることができる。一方、第１電極２の厚みｔ２の上限は、第２電極３の厚みｔ３の上限である２．０μｍの４．３×１０^{3}倍とすることができる。すなわち、第１電極２の厚みｔ２は、８６００μｍ（８．６ｍｍ）以下とすることができる。

[0055] ただし、第１電極２の厚みｔ２は、電極２，３の各導電率、及び第２電極

３の厚みｔ３に加え、例えば加工性を考慮して決定される。例えば、シリコン半導体材料を用いて第１電極２を形成する場合、加工性の観点から、第１電極２の厚みｔ２は、５００μｍ以下であることが好ましい。

[0056] 別の観点から、第１電極２に高周波電流を流す場合、表皮効果に基づいて、第１電極２に必要な厚みｔ２を見積もることができる。下記の式（１）は、導体の表皮深さを算出する式である。

[0057] [数1]

$$d = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f\mu\sigma}} \quad (1)$$

d: *表皮深さ* $[m]$
ρ: *導体の電気抵抗率* $[\Omega \cdot m] = 1/\sigma$
ω: *交流電流の角周波数* $[\mathrm{rad/s}] = 2\pi f$
μ: *導体の透磁率* $[\mathrm{H/m}]$
σ: *導体の導電率* $[\mathrm{S/m}]$
f: *交流電流の周波数* $[\mathrm{Hz}]$

[0058] 式（１）より、第１電極２に必要な厚みｔ２を決定することができる。より具体的には、式（１）を用いて算出された表皮深さよりも第１電極２の厚みｔ２を大きくすることにより、第１電極２の電気抵抗を小さくすることができ、余分な電気損失を抑制することができる。第１電極２の導電率は高いほど好ましい。ただし、不純物のドーピング量に固溶限界があること、また、ドーピング量が固溶限界に近づくと不純物がクラスター化し、キャリアとして不活性な状態が生じることから、ドーピング量がある量を超えると第１電極２の導電率は飽和する。ドーピング量の固溶限界が１．０×１０^{22}ｃｍ$^{-3}$であるとすれば、第１電極２の導電率は、１×１０^{7}Ｓ／ｍとなり、１ＧＨｚの電気信号の表皮深さは、５μｍとなる。しかしながら、実際の導電率は、一桁落ちて、１×１０^{6}Ｓ／ｍ程度となることが予想される。このため、電気信号に帯域幅を持たせて、０．５ＧＨｚ以上の信号を扱う運用とすれば、第１電極２の厚みｔ２は２５μｍ以上であることが好ましい。

[0059] 半導体電極である第１電極２の厚みｔ２は、例えば以下の方法により測定

できる。第１の方法は、ＳＥＭ観察による計測方法である。この方法では、ＦＩＢ（収束イオンビーム）により、光変調器１０を切断して、試料を採取する。採取した試料の断面をＳＥＭにより撮像し、得られた画像から第１電極２の厚みｔ２を測定することができる。第２の方法は光学的な計測方法である。この方法では、干渉分光法により、直接第１電極２の厚みｔ２を測定することができる。いずれの方法でも、測定結果は実質的に同じである。

[0060] 金属電極である第２電極３の厚みｔ３は、例えば以下の方法により測定できる。第１の方法は、上述したＳＥＭ観察による計測方法である。第２の方法は、Ｘ線による計測方法である。この方法では、第２電極３にＸ線を照射し、透過したＸ線量を測定することで第２電極３による減衰量を求める。求めた減衰量を逆算することにより、第２電極３の厚みｔ３を測定することができる。いずれの方法でも、測定結果は実質的に同じである。

[0061] 第１電極２におけるドーピング量は、エピ抵抗率測定、エアギャップＣＶ測定、水銀ＣＶ測定、表面電荷プロファイリング、二次イオン質量分析、又は広がり抵抗測定等により測定することができる。いずれの方法でも、測定結果は実質的に同じである。

[0062] 光導波路１の延びる方向に垂直な断面で見たとき、第１電極２の光導波路１側の幅ｗ２は、光導波路１の幅ｗ１よりも大きい。第１電極２の光導波路１側の幅ｗ２とは、第１電極２のうち、光導波路１に最も近い表面の幅を意味する。本実施形態では、第１電極２のうち光導波路１に接している面の、積層方向に垂直な方向の長さが幅ｗ２である。

[0063] ［効果］

本実施形態に係る光変調器１０において、第１電極２が半導体材料からなり、第２電極３が金属材料からなる。すなわち、光導波路１に電界を印加する第１電極２及び第２電極３のうち、第１電極２が半導体電極である。半導体電極は、金属電極よりも、内部応力を抑えつつ、厚く形成することが可能である。半導体電極を厚く形成することにより、消費電力を抑えつつ広帯域且つ高周波の信号を半導体電極に印加することができる。また、半導体電極

は内部応力を抑えながら形成することが可能であるため、内部応力に起因するクラックの発生を抑制することができる。

[0064] 第１電極２に用いられる半導体材料は、例えば、Ｓｉに不純物がドープされたシリコン半導体材料である。第１電極２は、シリコン単結晶基板であってもよいし、基板上に成膜された半導体シリコン層であってもよい。例えば、第１電極２がシリコン単結晶基板である場合、半導体シリコン層を基板上に形成する場合と比較して、第１電極２の内部応力を低減することができる。そのため、第１電極２の内部応力をより抑えながら第１電極２を厚く形成することが可能である。

[0065] 本実施形態に係る光変調器１０では、光導波路１に電界を印加する第１電極２及び第２電極３のうち、第２電極３が金属電極である。第２電極を構成する金属材料は、半導体材料よりも導電率が高い。そのため、第１電極及び第２電極の双方が半導体電極である場合と比較して、電気的な損失を抑制することができる。

[0066] 金属電極である第２電極３は、スパッタリング又は蒸着等により、接着層を介することなく光導波路１上に形成することができる。そのため、接着層による光吸収の発生を防止することができる。また、接着層が光導波路１に拡散して光導波路１の屈折率が変化するのも防止することができる。

[0067] 本実施形態では、第１電極２は、光導波路１に積層され、第２電極３は、第１電極２の反対側で光導波路１に積層されている。この場合、積層方向において、第１電極２と第２電極３との間に光導波路１が存在する。そのため、第１電極２及び第２電極３による電界を光導波路１に対して効率よく印加することができる。

[0068] 本実施形態において、第２電極３は、金属材料からなり、金属材料の主成分は例えば貴金属である。第２電極３が大気下に晒される場合、第２電極３が接触している材料からの不純物、又はデガスにより他の材料から飛び出したガス分子が、第２電極に拡散するおそれがある。第２電極３において、このような拡散が発生すると、インピーダンスが変化して当初の設計値からず

れる。第２電極３のインピーダンスが設計値からずれると、光変調器１０の変調特性に影響が生じる。第２電極３を構成する金属材料が、化学反応しにくい貴金属を主成分とする場合、光変調器１０の変調特性が安定する。さらに、第２電極３を構成する金属材料の主成分が貴金属であれば、第２電極３の抵抗値を抑えることができ、消費電力を抑えることができる。

[0069] 本実施形態では、光導波路１の延びる方向に垂直な断面で見たとき、積層方向に垂直な方向において、第１電極２の光導波路１側の表面の長さ（幅ｗ２）が、光導波路１の長さ（幅ｗ１）よりも大きい。この場合、光導波路１の全域に電界を印加することができる。また、第１電極２に対して光導波路１を形成するときに、応力を緩和することができる。

[0070] 本実施形態では、光導波路１の延びる方向に垂直な断面で見たとき、第１電極２の面積が第２電極３の面積よりも大きい。第２電極３は、金属材料からなるため、断面積を大きくしなくても、抵抗値が十分に小さい。一方、第１電極２は、金属材料よりも導電率が小さい半導体材料からなるため、第２電極３よりも断面積を大きくすることで、抵抗値を小さくすることができる。本実施形態では、第１電極２の断面積が第２電極３の断面積よりも大きいため、第１電極２の抵抗値が小さくなり、消費電力を抑えることができる。

[0071] 本実施形態において、金属電極である第２電極３が信号電極に用いられ、半導体電極である第１電極２が接地電極に用いられる。第２電極３は、導電率が大きくて、高周波信号の減衰が小さい金属材料からなる。したがって、第２電極３を信号電極とすれば、駆動電圧を抑えることができる。

[0072] ＜第２実施形態＞

図２は、第２実施形態に係る光変調器１０Ａの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ａは、低誘電率層４を備える点で、第１実施形態に係る光変調器１０と異なる。

[0073] 上記第１実施形態では、第１電極２は光導波路１と接触している。第１電極２が光導波路１と接触している場合であっても、第１電極２と光導波路１との屈折率差が大きければ、光導波路１の厚み調整等により、光導波路１に

光を閉じ込めることができる。しかしながら、第１電極２における不純物のドーピング量を増加させると、第１電極２の屈折率が低下して光導波路１の屈折率に近づく。このため、光導波路１から第１電極２に光が漏れるおそれがある。

[0074] 本実施形態では、第１電極２は、光導波路１と隙間をあけて配置されている。すなわち、第１電極２は、光導波路１と積層方向で離れている。第１電極２は光導波路１と接触していない。第１電極２と光導波路１との隙間の大きさは、例えば、０．７５０μｍ以上、１．６７５μｍ以下である。本明細書において、第１電極２と光導波路１との隙間の大きさは、第１電極２から光導波路１までの最短距離を意味する。本実施形態の場合、第１電極２から光導波路１までの積層方向の距離が、第１電極２から光導波路１までの最短距離である。

[0075] 低誘電率層４は、光導波路１の屈折率よりも小さい屈折率を有する。低誘電率層４は、第１電極２と光導波路１との隙間に設けられている。光変調器１０Ａでは、第１電極２上に低誘電率層４が積層され、低誘電率層４上に光導波路１が積層されている。つまり、第１電極２に対し、低誘電率層４を介して間接的に光導波路１が積層され、第１電極２が光導波路１と接触していない。低誘電率層４は、光導波路１の低誘電率層４に対向する表面の全体を覆っていることが好ましい。一方、第２電極３は、第１実施形態と同様に、光導波路１上に直接積層され、光導波路１と接触している。

[0076] 低誘電率層４の主成分は、典型的にはSiO_2である。低誘電率層４の主成分として、Al_2O_3、$LaAlO_3$、$LaYO_3$、ＺｎＯ、HfO_2、ＭｇＯ、Y_2O_3等の酸化物、又はＢＣＢ（ベンゾシクロブテン）、ＰＩ（ポリイミド）等のポリマーが用いられてもよい。

[0077] 低誘電率層４は、例えば、ＣＶＤ、蒸着、スパッタリング等により、第１電極２上に成膜される。そして、電気光学効果を有する材料基板を低誘電率層４上に配置し、材料基板を低誘電率層４と接着することができる。以降、第１実施形態で説明したように、光導波路１、及び第２電極３を低誘電率層

４上に形成すればよい。

[0078] 本実施形態において、第１電極２は光導波路１と接触していない。さらに、第１電極２と光導波路１との隙間には、光導波路１よりも屈折率が小さい低誘電率層４が設けられている。このため、第１電極２が光導波路１と接触している場合と比較して、光導波路１を通過する光は、第１電極２に対して漏れにくく、第１電極２に吸収されにくい。したがって、光の損失を抑制することができる。

[0079] 例えば、第１電極２に用いられる半導体材料がシリコン半導体材料であれば、熱酸化法によりSiO_2の低誘電率層４をシリコン半導体材料の第１電極２上に成膜することができる。この場合、第１電極２に対する低誘電率層４の密着性が良く、第１電極２と低誘電率層４との界面に異物が入りにくい。このため、第１電極２と低誘電率層４との界面において、電気的な損失を抑制することができる。また、光変調器１０Ａの信頼性及び寿命の向上を図ることができる。第１電極２と低誘電率層４との界面に異物が集積し、集積した異物に電界が集中すれば、光変調器１０Ａが破損するおそれがあるからである。

[0080] 低誘電率層４におけるエバネッセント光のしみ出し深さは、光導波路１を通過する光（搬送波）の波長を目安として見積もることができる。第１電極２が光導波路１から搬送波の波長以上離れている場合、エバネッセント光が第１電極２に接触するのを防止することができる。したがって、光導波路１と第１電極２との隙間の大きさ、つまり低誘電率層４の厚み（積層方向の長さ）は、光導波路１を通過する光の波長以上であることが好ましい。

[0081] 例えば、本実施形態のように、第１電極２と光導波路１との隙間の大きさが０．７５０μｍ以上であれば、低誘電率層４の厚みがエバネッセント光のしみ出し深さよりも大きくなり、光導波路１を通過する光が第１電極２に漏れにくい。上述したように、第１電極２と光導波路１との隙間の大きさは、１．６７５μｍ以下であってもよい。第１電極２と光導波路１との隙間の大きさが１．６７５μｍ以下であれば、第１電極２と第２電極３との間に印加

する電圧を大きくしなくても、光導波路１に対する電界の大きさを確保することができる。

[0082] ＜第３実施形態＞

図３は、第３実施形態に係る光変調器１０Ｂの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｂは、低誘電率層５を備える点で、第１実施形態に係る光変調器１０と異なる。

[0083] 本実施形態では、第２電極３は、光導波路１と隙間をあけて配置されている。すなわち、第２電極３は、光導波路１と積層方向で離れている。第２電極３は光導波路１と接触していない。第２電極３と光導波路１との隙間の大きさは、例えば、０．７５０μｍ以上、１．６７５μｍ以下である。本明細書において、第２電極３と光導波路１との隙間の大きさは、第２電極３から光導波路１までの最短距離を意味する。本実施形態の場合、第２電極３から光導波路１までの積層方向の距離が、第２電極３から光導波路１までの最短距離である。

[0084] 低誘電率層５は、光導波路１の屈折率よりも小さい屈折率を有する。低誘電率層５は、第２電極３と光導波路１との隙間に設けられている。光変調器１０Ｂでは、光導波路１上に低誘電率層５が積層され、低誘電率層５上に第２電極３が積層されている。つまり、第２電極３に対し、低誘電率層５を介して間接的に光導波路１が積層され、第２電極３が光導波路１と接触していない。低誘電率層５は、光導波路１の低誘電率層５に対向する表面の全体を覆っていることが好ましい。一方、第１電極２は、第１実施形態と同様に、光導波路１上に直接積層され、光導波路１と接触している。

[0085] 低誘電率層５の主成分の例としては、第２実施形態の低誘電率層４と同様のものを挙げることができる。低誘電率層５の主成分は、低誘電率層４の主成分と同じであってもよいし、異なっていてもよい。

[0086] 低誘電率層５は、例えば、ＣＶＤ、蒸着、スパッタリング等により、光導波路１上に成膜される。低誘電率層５の成膜の前に、第１実施形態で説明したように、光導波路１を第１電極２上に形成すればよい。そして、スパッタ

リング、蒸着等により、低誘電率層５上に金属層を成膜し、第１実施形態で説明したように、成膜された金属膜に対し、第２電極３を形成すればよい。

[0087] 本実施形態において、第２電極３は光導波路１と接触していない。さらに、第２電極３と光導波路１との隙間には、光導波路１よりも屈折率が小さい低誘電率層５が設けられている。このため、第２電極３が光導波路１と接触している場合と比較して、光導波路１を通過する光は、第２電極３に対して漏れにくく、第２電極３に吸収されにくい。したがって、光の損失を抑制することができる。

[0088] 本実施形態では、第２電極３と光導波路１との隙間の大きさが、０．７５０μｍ以上、１．６７５μｍ以下である。このため、第２実施形態と同様に、光の損失を抑制するとともに、光導波路１に対する電界の大きさを確保することができる。

[0089] ＜第４実施形態＞

図４は、第４実施形態に係る光変調器１０Ｃの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｃは、低誘電率層４及び低誘電率層５を備える点で、第１実施形態に係る光変調器１０と異なる。別の観点では、光変調器１０Ｃは、第２実施形態の構成と第３実施形態の構成を組み合わせたものである。

[0090] 本実施形態では、第１電極２及び第２電極３の双方が、光導波路１と隙間をあけて配置されている。さらに、第１電極２と光導波路１との隙間、及び第２電極３と光導波路１との隙間には、それぞれ光導波路１よりも屈折率が小さい低誘電率層４，５が設けられている。これにより、光導波路１を通過する光が第１電極２及び第２電極３の各々に対して漏れにくくなる。したがって、光変調器１０Ｃでは、光変調器１０Ａ，１０Ｂよりもさらに光の損失を抑制することができる。

[0091] ＜第５実施形態＞

図５は、第５実施形態に係る光変調器１０Ｄの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｄは、第１電極２Ａの構成において、第４実施形態に係る光変調器１０Ｃと異なる。

[0092] 図５を参照して、第１電極２Ａは、凸部２Ａａを含んでいる。第１電極２Ａにおいて、凸部２Ａａは、積層方向において光導波路１側に位置する表面に設けられ、光導波路１に向かって突出する。本実施形態の例において、第１電極２Ａは、凸部２Ａａと、基部２Ａｂとを含む。基部２Ａｂは、積層方向で光導波路１と反対側に配置される。凸部２Ａａは、基部２Ａｂの表面２Ａｂａから光導波路１に向かって突出する。凸部２Ａａ及び基部２Ａｂの各々は、実質的に矩形状の断面を有していてもよい。光変調器１０Ｄでは、第１電極２Ａの凸部２Ａａ上に低誘電率層４が積層され、凸部２Ａａが低誘電率層４と接触している。

[0093] 光導波路１の延びる方向に垂直な断面で見たとき、基部２Ａｂの幅ｗ２Ａｂは、凸部２Ａａの幅ｗ２Ａａよりも大きい。幅ｗ２Ａａは、凸部２Ａａのうち、光導波路１に最も近い表面２Ａａａの幅を意味する。本実施形態では、凸部２Ａａのうち低誘電率層４に接している表面２Ａａａの、積層方向に垂直な方向の長さが幅ｗ２Ａａである。凸部２Ａａの幅ｗ２Ａａは、光導波路１の幅ｗ１よりも大きい。

[0094] 本実施形態の光変調器１０Ｄでは、凸部２Ａａにより電界を光導波路１に集中させることができる。このため、第１電極２Ａと第２電極３との間に印加する電圧を小さくすることができ、消費電力を抑えることができる。

[0095] 図５の例において、凸部２Ａａ及び基部２Ａｂを含む第１電極２Ａは、例えば、シリコン単結晶基板である。シリコン単結晶の母材基板にリソグラフィ及びエッチングを施すことによって、凸部２Ａａ及び基部２Ａｂを形成できる。

[0096] 図６に、第５実施形態に係る光変調器１０Ｄの変形例を示す。図６では、第１電極２Ａが設けられる基板として、ＳＯＩ基板２０が用いられている。ＳＯＩ基板２０は、酸化膜２１と、酸化膜２１をその両表面から挟むように配置された活性層２２ａ，２２ｂとを含む。ＳＯＩ基板２０では、一方の活性層２２ａが第１電極２Ａとなっている。ＳＯＩ基板２０の活性層２２ａを利用すれば、第１電極２Ａを形成するためのパターニングを容易に行える。

[0097] 第１電極２Ａを第１実施形態に係る光変調器１０に適用してもよい。この場合、凸部２Ａａが光導波路１と接触する。第１電極２Ａを第２実施形態に係る光変調器１０Ａに適用してもよい。この場合、凸部２Ａａが低誘電率層４と接触し、光導波路１と接触しない。第１電極２Ａを第３実施形態に係る光変調器１０Ｂに適用してもよい。この場合、凸部２Ａａが光導波路１と接触する。

[0098] ＜第６実施形態＞

図７は、第６実施形態に係る光変調器１０Ｅの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｅは、第１電極２Ｂの構成において、第５実施形態に係る光変調器１０Ｄと異なる。

[0099] 図７を参照して、第１電極２Ｂは、凸部２Ｂａと、基部２Ｂｂとを含んでいる。凸部２Ｂａは、基部２Ｂｂの表面２Ｂｂａから光導波路１に向かって突出する。光導波路１の延びる方向に垂直な断面で見たとき、積層方向に垂直な方向における凸部２Ｂａの長さ（幅）は、光導波路１に近いほど小さくなっている。凸部２Ｂａは、光導波路１側の表面２Ｂａａにおいて最小の幅ｗ２Ｂａを有することができる。本実施形態では、凸部２Ｂａの表面２Ｂａａは、低誘電率層４に接している。凸部２Ｂａは、実質的に台形状の断面を有していてもよい。この場合、凸部２Ｂａの表面２Ｂａａは、台形の上底に相当する。

[0100] 本実施形態の光変調器１０Ｅでは、凸部２Ｂａの断面において、凸部２Ｂａの幅が光導波路１に近いほど小さくなっている。この場合、基部２Ｂｂの表面２Ｂｂａに対して凸部２Ｂａの側面２Ｂａｂを比較的緩やかに連続させることができる。より具体的には、凸部２Ｂａの側面２Ｂａｂを鈍角、つまり曲線に近い形状で基部２Ｂｂの表面２Ｂｂａに対し、滑らかに接続することができる。これにより、凸部２Ｂａの側面２Ｂａｂが基部２Ｂｂの表面２Ｂｂａに直角で接続されている場合と比較して、凸部２Ｂａと基部２Ｂｂとの境界で電気的な損失を生じにくくすることができる。

[0101] 本実施形態では、凸部２Ｂａの側面２Ｂａｂが表面２Ｂａａに対して一定

の勾配で傾斜している。しかしながら、表面２Ｂａａに対する側面２Ｂａｂの勾配は変化していてもよい。

[0102] 第１電極２Ｂを第１～第３実施形態に係る各光変調器１０，１０Ａ，１０Ｂに適用してもよい。

[0103] ＜第７実施形態＞

図８は、第７実施形態に係る光変調器１０Ｆの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｆは、金属薄層６を備える点で、第５実施形態に係る光変調器１０Ｄと異なる。

[0104] 図８を参照して、金属薄層６は、第１電極２Ａの光導波路１側の表面に設けられている。具体的には、金属薄層６は、凸部２Ａａの光導波路１側の表面２Ａａａに設けられている。金属薄層６の厚みｔ６は、第１電極２Ａの厚みｔ２よりも薄い。金属薄層６の断面積は、第１電極２Ａの断面積よりも小さい。また、金属薄層６の厚みｔ６は、第２電極３の厚みｔ３よりも薄い。

[0105] 金属薄層６は、導電率が大きく、高周波信号の減衰が小さい。この金属薄層６を凸部２Ａａの光導波路１側の表面２Ａａａに設ければ、駆動電圧を抑えることができる。さらに、第１電極２Ａの凸部２Ａａにおいて、表皮効果により、高周波信号はより表層を伝って伝搬するため、表層付近の導電率がより大きい方が好ましい。この点、金属薄層６を第１電極２Ａの光導波路１側の表面に設ければ、抵抗値を小さくすることができ、信号の減衰を抑えることができる。この場合、低周波信号に対しては、凸部２Ａａが利用される。

[0106] 第１電極２Ａがシリコン半導体材料からなる場合、上述の通り、第１電極２Ａの厚みｔ２は、例えば、０．４３μｍ以上、５００μｍ以下である。金属薄層６の厚みｔ６は、例えば、第１電極２Ａの厚みｔ２に対して１０％以上、５０％以下である。金属薄層６の断面積は、例えば、第１電極２Ａの断面積に対して１０％以上、５０％以下である。金属薄層６の断面積は、０．０４３μm^2以上、２５００μm^2以下であってもよい。金属薄層６は、例えば、第２電極３と同様の金属材料を用いて形成することができる。

[0107] 金属薄層６を第１～第４実施形態に係る各光変調器１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃに適用してもよい。この場合、金属薄層６は、凸部を有さない第１電極２の表面に設けられる。金属薄層６を第６実施形態に係る光変調器１０Ｅに適用してもよい。この場合、金属薄層６は、第１電極２Ｂの凸部２Ｂａの表面２Ｂａａに設けられる。

[0108] ＜第８実施形態＞

図９は、第８実施形態に係る光変調器１０Ｇの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｇは、光導波路１Ｃの構成、並びに第１電極２Ｃ及び第２電極３Ｃの配置において、第４実施形態に係る光変調器１０Ｃと異なる。

[0109] 図９を参照して、光変調器１０Ｇは、光導波路１Ｃと、第１電極２Ｃと、第２電極３Ｃと、低誘電率層４Ｃとを備える。光導波路１Ｃは、基板部１Ｃａと、リッジ部１Ｃｂとを含む。リッジ部１Ｃｂは、基板部１Ｃａの表面から突出している。リッジ部１Ｃｂが実質的に光導波路として機能する。光導波路１Ｃには低誘電率層４Ｃが積層されている。より具体的には、基板部１Ｃａ及びリッジ部１Ｃｂに対し、低誘電率層４Ｃが積層されている。

[0110] 第１電極２Ｃ及び第２電極３Ｃは、低誘電率層４Ｃ上に積層されている。第１電極２Ｃ及び第２電極３Ｃは、互いに隙間をあけて並列に配置されている。具体的には、第１電極２Ｃ及び第２電極３Ｃは、光変調器１０Ｇの断面視で、光導波路１Ｃ及び低誘電率層４の積層方向に対して実質的に垂直な方向に並んで配置されている。積層方向に対して実質的に垂直な方向において、リッジ部１Ｃｂの一方側に第１電極２Ｃが配置され、リッジ部１Ｃｂの他方側に第２電極３Ｃが配置されている。第１電極２Ｃ及び第２電極３Ｃは、互いの間に電位差を形成して光導波路１Ｃのリッジ部１Ｃｂに電界を印加することができる。

[0111] 本実施形態に係る光変調器１０Ｇであっても、第４実施形態に係る光変調器１０Ｃと同様の効果を奏する。本実施形態に係る光変調器１０Ｇに第７実施形態の金属薄層６を適用してもよい。

[0112] ＜第９実施形態＞

図１０は、第９実施形態に係る光変調器１０Ｈの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｈは、第１電極２Ｄの構成において、第１実施形態に係る光変調器１０と異なる。

[0113] 図１０を参照して、第１電極２Ｄは、光導波路１側の表層２Ｄａと、残部２Ｄｂとを有する。本実施形態の例において、表層２Ｄａは、第１電極２Ｄのうち光導波路１に隣接するように配置されている。表層２Ｄａは、例えば、第１電極２Ｄの光導波路１側の表面から、光導波路１に対する第１電極２Ｄの積層方向における第１電極２Ｄの長さ（厚み）の１０％の範囲にある部分である。残部２Ｄｂは、第１電極２Ｄのうち、表層２Ｄａを除いた部分を意味する。第１電極２Ｄにおいて、半導体材料にドープされている不純物の濃度は、表層２Ｄａのほうが残部２Ｄｂよりも高い。すなわち、第１電極２Ｄは、表層２Ｄａと残部２Ｄｂとで不純物の濃度、すなわちドーパント量が異なる。例えば、表層２Ｄａにおける不純物の濃度は、残部２Ｄｂにおける不純物の濃度に対して１０％以上高い。このような第１電極２Ｄにおける不純物の濃度分布は、熱拡散法、又はイオン注入法等により形成できる。

[0114] 第１電極２Ｄにおいて、不純物の濃度は、表層２Ｄａと残部２Ｄｂとの境界で急激に変化していてもよいし、表層２Ｄａから積層方向に離れるにつれて徐々に薄くなっていてもよい。第１電極２Ｄにおける不純物の濃度は、エピ抵抗率測定、エアギャップＣＶ測定、水銀ＣＶ測定、表面電荷プロファイリング、二次イオン質量分析、又は広がり抵抗測定等により測定することができる。いずれの方法でも、測定結果は実質的に同じである。表層２Ｄａの不純物の濃度と残部２Ｄｂの不純物の濃度との差異は、上記の測定方法のいずれかによって確認することができる。具体的には、上記の測定方法を実施することによって、第１電極２Ｄの光導波路１側の表面からの深さ方向における不純物濃度のプロファイルを得る。得られた不純物濃度のプロファイルより、表層２Ｄａの不純物濃度の積分平均、及び残部２Ｄｂの不純物濃度の積分平均を算出し、それぞれ表層２Ｄａの不純物の濃度及び残部２Ｄｂの不純物の濃度とする。すなわち、第１電極２Ｄの光導波路１側の表面から第１

電極２Ｄの深さ（厚み）の１０％の範囲の不純物濃度の積分平均を表層２Ｄａの不純物濃度とし、残りの範囲の不純物濃度の積分平均を残部２Ｄｂの不純物の濃度とする。得られた表層２Ｄａの不純物濃度は、得られた残部２Ｄｂの不純物の濃度よりも例えば１０％以上高くなっている。

[0115] 本実施形態に係る光変調器１０Ｈでは、第１電極２Ｄのうち光導波路１側の表層２Ｄａには、第１電極２の残部２Ｄｂと比較して高い濃度で不純物がドープされている。この場合、第１電極２Ｄにおいて、光導波路１の近傍に導電率の大きい領域を局在させることができ、表皮効果によって高周波信号の減衰を抑えることができる。

[0116] 第１電極２Ｄを第２～第７実施形態に係る各光変調器１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃ，１０Ｄ，１０Ｅ，１０Ｆに適用してもよい。

[0117] ＜第１０実施形態＞

図１１は、第１０実施形態に係る光変調器１０Ｉの概略構成を示す断面図である。光変調器１０Ｉは、第１電極２Ｅの構成において、第８実施形態に係る光変調器１０Ｇと異なる。

[0118] 図１１を参照して、第１電極２Ｅは、光導波路１Ｃのリッジ部１Ｃｂ側の表層２Ｅａと、残部２Ｅｂとを有する。リッジ部１Ｃｂ側の表層２Ｅａとは、第１電極２Ｅのうち、第２電極３Ｃとともにリッジ部１Ｃｂに印加する電界が通過するところの表層である。本実施形態の例において、表層２Ｅａは、第１電極２Ｅのうち、光導波路１Ｃに対する第１電極２Ｅの積層方向に垂直な方向（幅方向）において、実質的に光導波路として機能するリッジ部１Ｃｂ側に位置する表層である。表層２Ｅａは、例えば、第１電極２Ｅの幅方向においてリッジ部１Ｃｂ側に位置づけられる表面から、第１電極２Ｅの幅方向の長さの１０％の範囲にある部分である。残部２Ｅｂは、第１電極２Ｅのうち、表層２Ｅａを除いた部分を意味する。上述した第９実施形態の第１電極２Ｄと同様に、第１電極２Ｅにおいて、半導体材料にドープされている不純物の濃度は、表層２Ｅａのほうが残部２Ｅｂよりも高い。したがって、本実施形態に係る光変調器１０Ｉであっても、第９実施形態に係る光変調器

１０Ｈと同様の効果を奏する。

[0119] 図１２に、第１０実施形態に係る光変調器１０Ｉの変形例を示す。図１２を参照して、表層２Ｅａは、第１電極２Ｅのうち、光導波路１に対する第１電極２Ｅの積層方向において光導波路１Ｃ側に位置する表層であってもよい。この場合、表層２Ｅａは、例えば、積層方向において光導波路１Ｃ側に位置づけられる表面から、第１電極２Ｅの厚みの１０％の範囲にある部分である。この構成であっても、第９実施形態に係る光変調器１０Ｈと同様の効果を奏することができる。

[0120] 以上、本開示に係る実施形態について説明したが、本開示は上記実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。

[0121] 本開示に係る光変調器の構成を以下にまとめる。

[0122] ＜１＞

電気光学効果を有する材料からなる光導波路と、

半導体材料からなる第１電極と、

金属材料からなり、前記第１電極と電位差を形成して前記光導波路に電界を印加するように配置される第２電極と、を備える、光変調器。

[0123] ＜２＞

＜１＞に記載の光変調器であって、さらに、

前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備え、

前記第１電極及び前記第２電極のうち少なくとも前記第１電極は、前記光導波路と隙間をあけて配置され、

前記低誘電率層は、前記隙間に設けられる、光変調器。

[0124] ＜３＞

＜１＞に記載の光変調器であって、さらに、

前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備え、

前記第１電極及び前記第２電極は、それぞれ前記光導波路と隙間をあけて配置され、

前記低誘電率層は、前記隙間に設けられる、光変調器。

[0125] ＜４＞

＜２＞又は＜３＞に記載の光変調器であって、

前記隙間の大きさは、０．７５０μｍ以上、１．６７５μｍ以下である、光変調器。

[0126] ＜５＞

＜２＞～＜４＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記半導体材料は、シリコンに不純物がドープされたシリコン半導体材料であり、

前記低誘電率層の主成分がSiO_2である、光変調器。

[0127] ＜６＞

＜１＞～＜５＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記第１電極は、前記光導波路に積層され、

前記第２電極は、前記第１電極の反対側で前記光導波路に積層されている、光変調器。

[0128] ＜７＞

＜６＞に記載の光変調器であって、

前記第１電極は、前記第１電極、前記光導波路、及び前記第２電極の積層方向において前記光導波路側に位置する表面に設けられ、前記光導波路に向かって突出する凸部を含む、光変調器。

[0129] ＜８＞

＜７＞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で見たとき、前記積層方向に垂直な方向における前記凸部の長さは、前記光導波路に近いほど小さい、光変調器。

[0130] ＜９＞

＜６＞～＜８＞のいずれか１つ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で見たとき、前記第１電極、前記

光導波路、及び前記第２電極の積層方向に垂直な方向において、前記第１電極の前記光導波路側の表面の長さは、前記光導波路の長さよりも大きい、光変調器。

[0131] ＜１０＞

＜１＞～＜９＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記半導体材料は、シリコンに不純物がドープされたシリコン半導体材料である、光変調器。

[0132] ＜１１＞

＜１０＞に記載の光変調器であって、

前記第１電極における前記不純物の濃度は、１．０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以上、１．０×10^{22}ｃｍ$^{-3}$以下である、光変調器。

[0133] ＜１２＞

＜１＞～＜１１＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記第１電極の屈折率が３よりも小さい、光変調器。

[0134] ＜１３＞

＜１０＞～＜１２＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記第１電極は、シリコン単結晶基板である、光変調器。

[0135] ＜１４＞

＜１０＞～＜１２＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記第１電極は、ＳＯＩ基板の活性層である、光変調器。

[0136] ＜１５＞

＜１＞～＜１４＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記金属材料は、その主成分が貴金属である、光変調器。

[0137] ＜１６＞

＜１＞～＜１５＞のいずれか１つ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で見たとき、前記第１電極の面積が前記第２電極の面積よりも大きい、光変調器。

[0138] ＜１７＞

＜１＞～＜１６＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記第２電極が信号電極であり、前記第１電極が接地電極である、光変調器。

[0139] ＜１８＞

＜１＞～＜１７＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、さらに、

前記第１電極の前記光導波路側の表面に設けられ、前記第１電極よりも厚みの薄い金属薄層を備える、光変調器。

[0140] ＜１９＞

＜１＞～＜１８＞のいずれか１つに記載の光変調器であって、

前記第１電極のうち前記光導波路側の表層には、前記第１電極の他の部分と比較して高い濃度で不純物がドープされている、光変調器。

符号の説明

[0141] １０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃ，１０Ｄ，１０Ｅ，１０Ｆ，１０Ｇ，１０Ｉ：光変調器

１，１Ｃ：光導波路

１Ｃａ：基板部

１Ｃｂ：リッジ部

２，２Ａ，２Ｂ，２Ｃ，２Ｄ，２Ｅ：第１電極

２Ａａ，２Ｂａ：凸部

２Ａｂ，２Ｂｂ：基部

２Ｄａ，２Ｅａ：表層

２Ｄｂ，２Ｅｂ：残部

２０：ＳＯＩ基板

２１：酸化膜

２２ａ，２２ｂ活性層

３，３Ｃ：第２電極

４，５，４Ｃ：低誘電率層

６：金属薄層

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、

半導体材料からなる第１電極と、

金属材料からなり、前記第１電極と電位差を形成して前記光導波路に電界を印加するように配置される第２電極と、を備える、光変調器。

[請求項2] 請求項１に記載の光変調器であって、さらに、

前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備え、

前記第１電極及び前記第２電極のうち少なくとも前記第１電極は、前記光導波路と隙間をあけて配置され、

前記低誘電率層は、前記隙間に設けられる、光変調器。

[請求項3] 請求項１に記載の光変調器であって、さらに、

前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備え、

前記第１電極及び前記第２電極は、それぞれ前記光導波路と隙間をあけて配置され、

前記低誘電率層は、前記隙間に設けられる、光変調器。

[請求項4] 請求項２又は３に記載の光変調器であって、

前記隙間の大きさは、０．７５０μｍ以上、１．６７５μｍ以下である、光変調器。

[請求項5] 請求項２～４のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記半導体材料は、シリコンに不純物がドープされたシリコン半導体材料であり、

前記低誘電率層の主成分がSiO_2である、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、

前記第１電極は、前記光導波路に積層され、

前記第２電極は、前記第１電極の反対側で前記光導波路に積層され

ている、光変調器。

[請求項7] 請求項６に記載の光変調器であって、

前記第１電極は、前記第１電極、前記光導波路、及び前記第２電極の積層方向において前記光導波路側に位置する表面に設けられ、前記光導波路に向かって突出する凸部を含む、光変調器。

[請求項8] 請求項７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で見たとき、前記積層方向に垂直な方向における前記凸部の長さは、前記光導波路に近いほど小さい、光変調器。

[請求項9] 請求項６～８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で見たとき、前記第１電極、前記光導波路、及び前記第２電極の積層方向に垂直な方向において、前記第１電極の前記光導波路側の表面の長さは、前記光導波路の長さよりも大きい、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、

前記半導体材料は、シリコンに不純物がドープされたシリコン半導体材料である、光変調器。

[請求項11] 請求項１０に記載の光変調器であって、

前記第１電極における前記不純物の濃度は、１．０×10^{17}ｃｍ$^{-3}$以上、１．０×10^{22}ｃｍ$^{-3}$以下である、光変調器。

[請求項12] 請求項１～１１のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記第１電極の屈折率が３よりも小さい、光変調器。

[請求項13] 請求項１０～１２のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記第１電極は、シリコン単結晶基板である、光変調器。

[請求項14] 請求項１０～１２のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記第１電極は、ＳＯＩ基板の活性層である、光変調器。

[請求項15] 請求項１～１４のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記金属材料は、その主成分が貴金属である、光変調器。

[請求項16] 請求項１～１５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で見たとき、前記第１電極の面積が前記第２電極の面積よりも大きい、光変調器。

[請求項17] 請求項１～１６のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記第２電極が信号電極であり、前記第１電極が接地電極である、光変調器。

[請求項18] 請求項１～１７のいずれか１項に記載の光変調器であって、さらに、

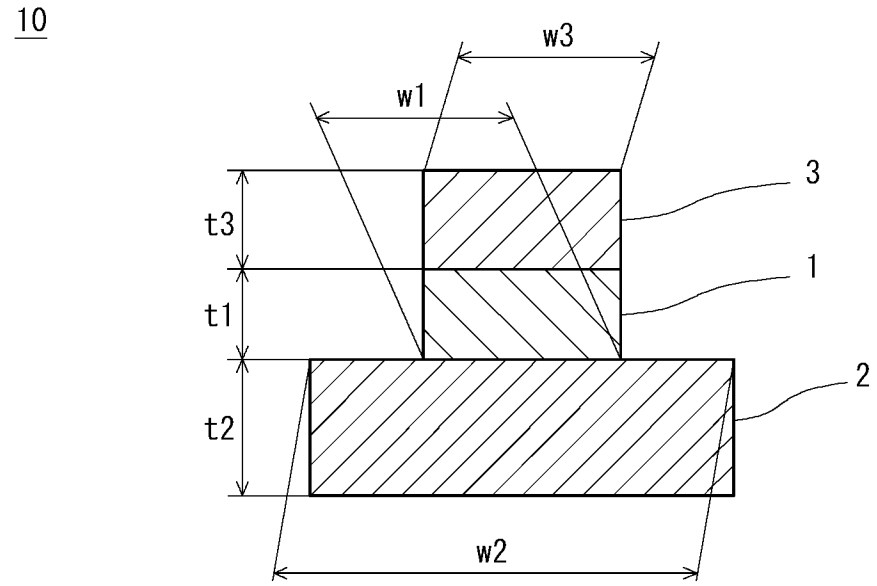
前記第１電極の前記光導波路側の表面に設けられ、前記第１電極よりも厚みの薄い金属薄層を備える、光変調器。

[請求項19] 請求項１～１８のいずれか１項に記載の光変調器であって、

前記第１電極のうち前記光導波路側の表層には、前記第１電極の他の部分と比較して高い濃度で不純物がドープされている、光変調器。

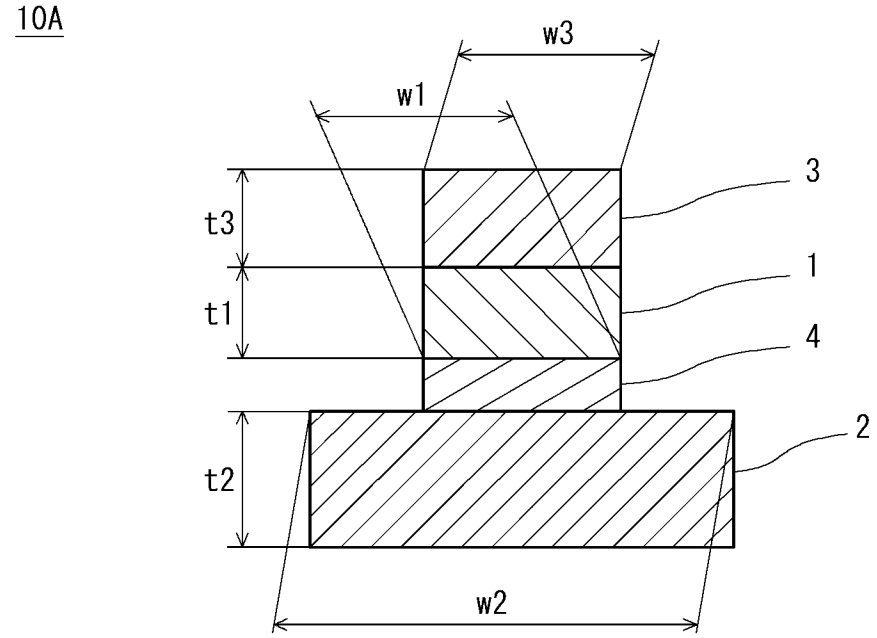
[図1]

FIG. 1



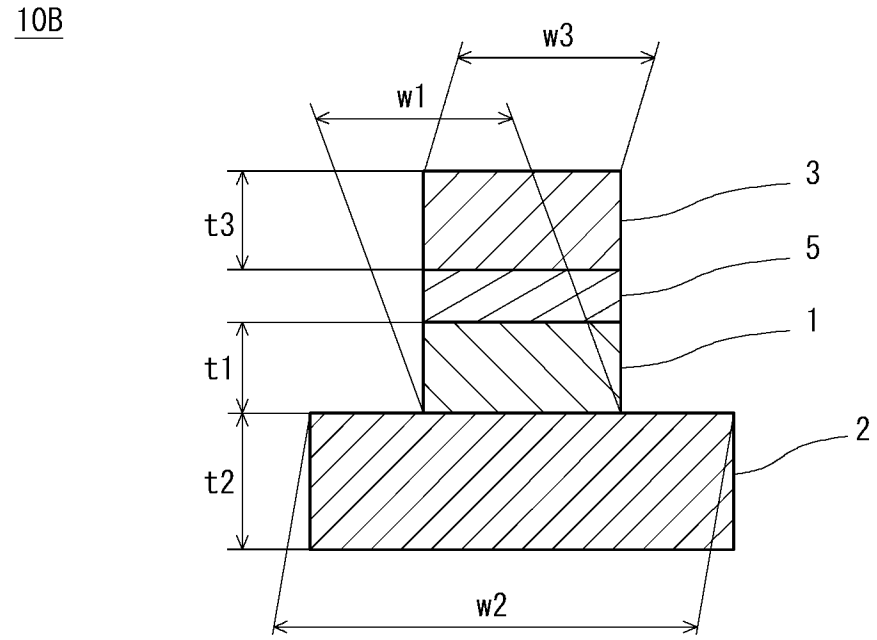
[図2]

FIG. 2



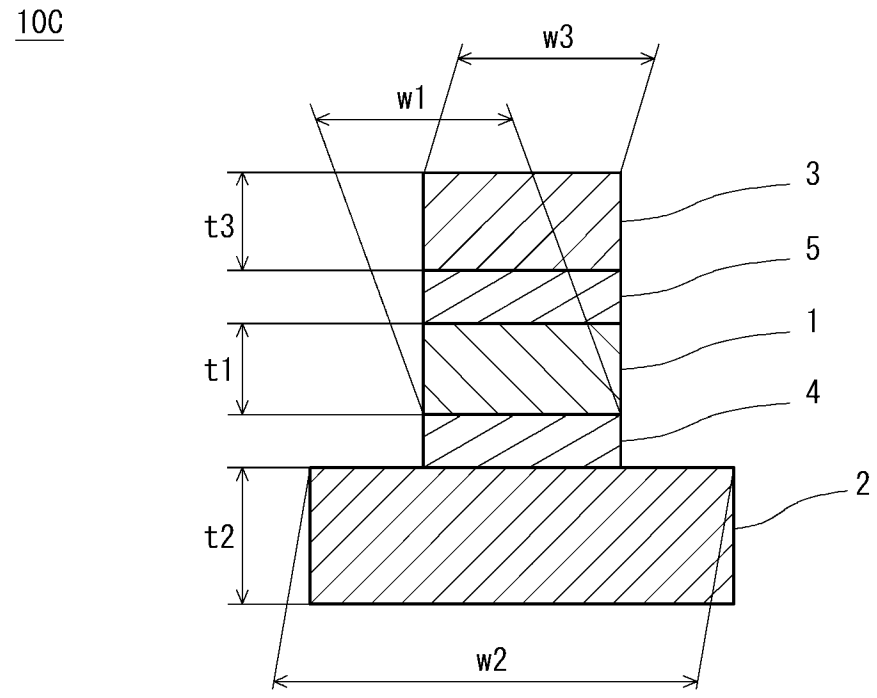
[図3]

FIG. 3



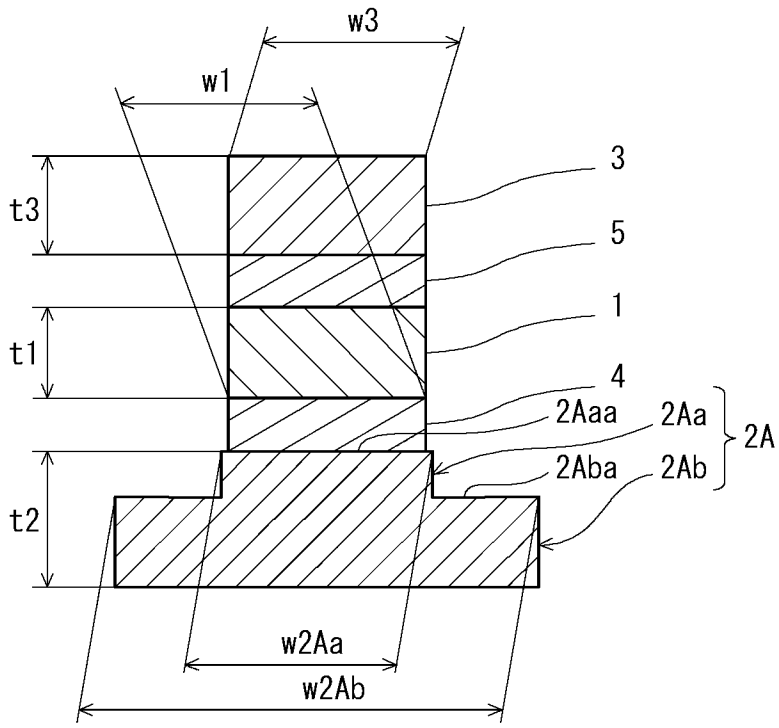
[図4]

FIG. 4



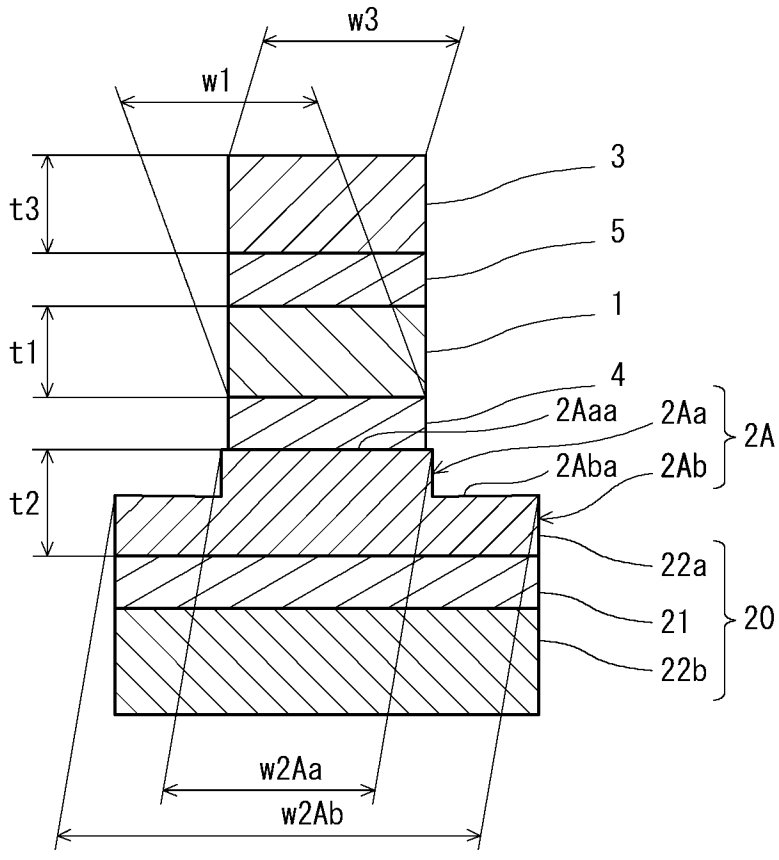
[図5]

FIG. 5



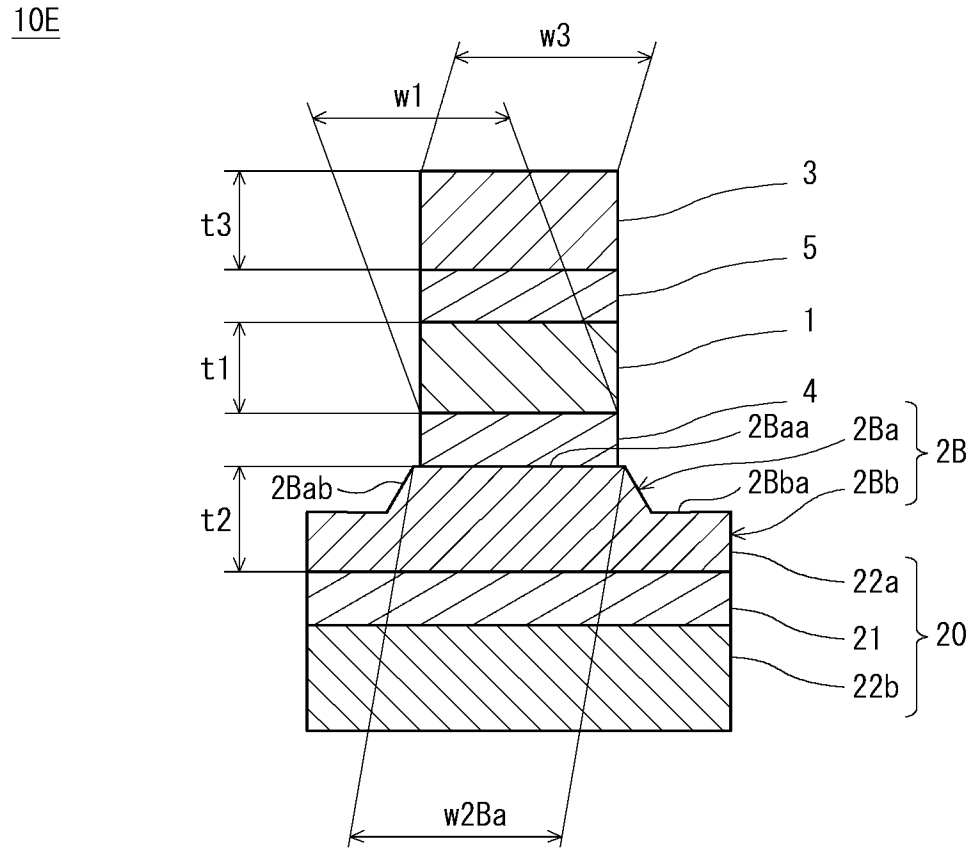
[図6]

FIG. 6



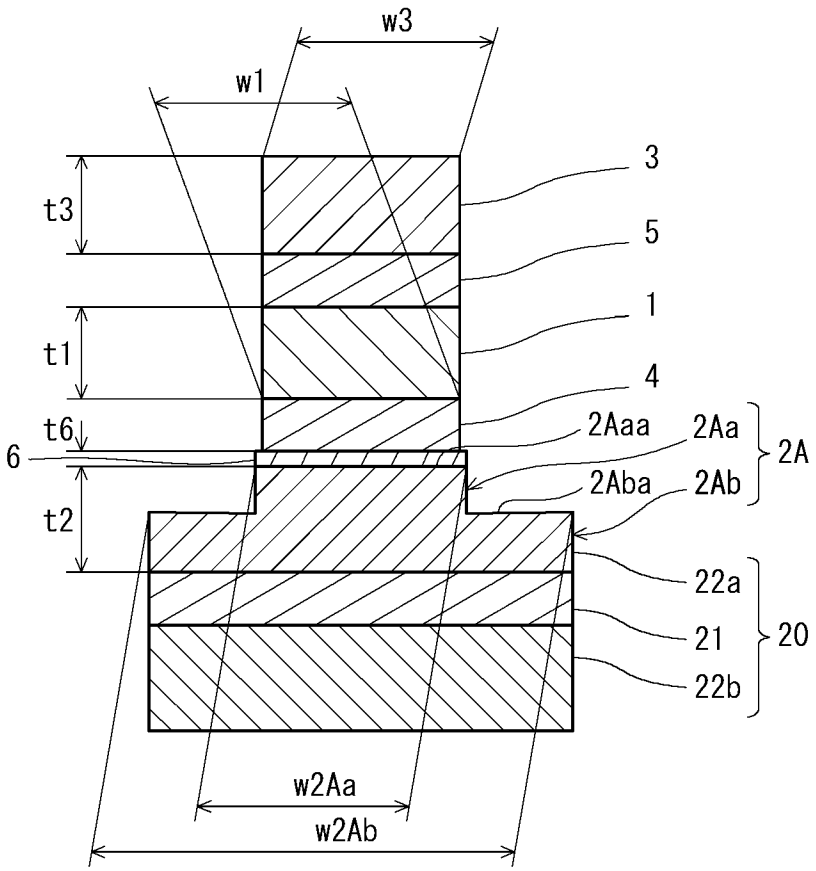
[図7]

FIG. 7



[図8]

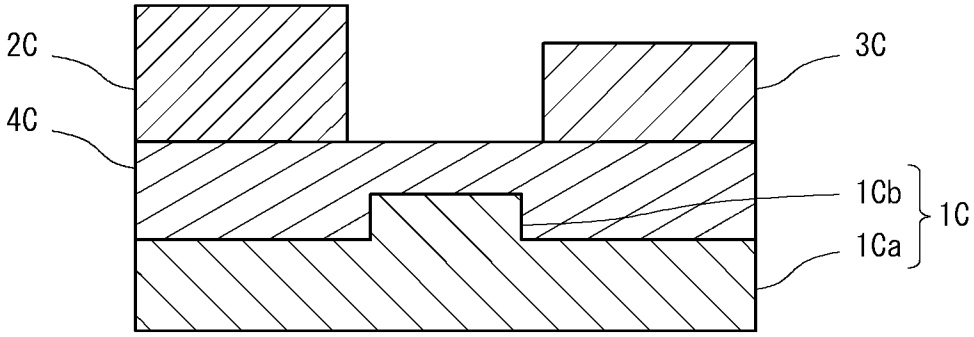
FIG. 8



[図9]

FIG. 9

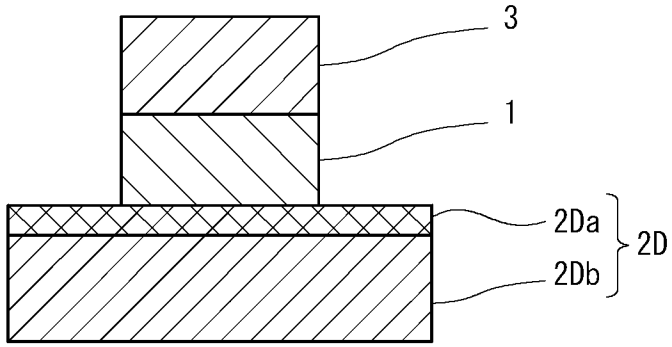
10G



[図10]

FIG. 10

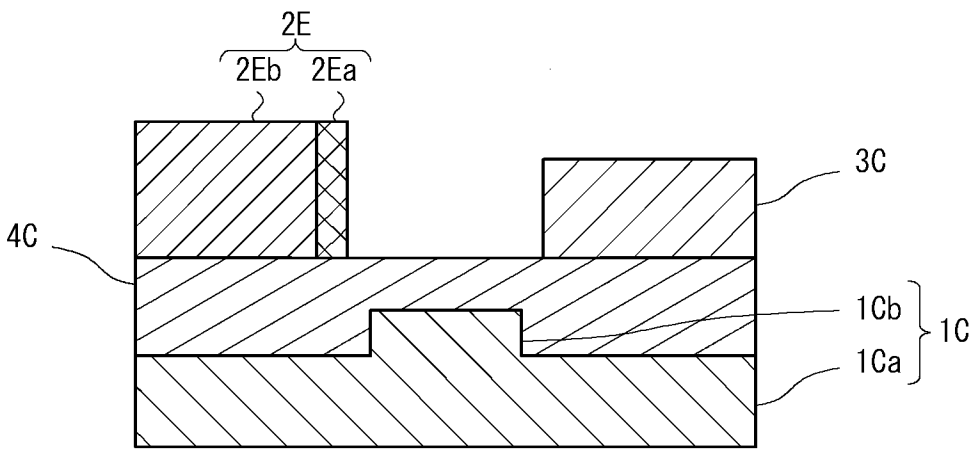
10H



[図11]

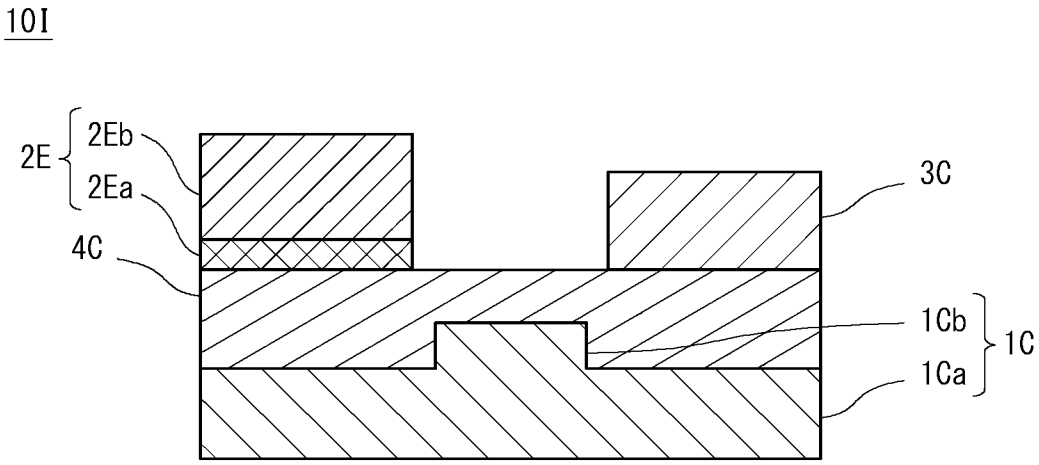
FIG. 11

10I



[図12]

FIG. 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/022849

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/12(2006.01)i; ***G02F 1/035***(2006.01)i
FI: G02F1/035; G02B6/12 363

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; G02B6/12-6/14; H01S5/00-5/50

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 2002-244168 A (FUJI XEROX CO LTD) 28 August 2002 (2002-08-28) paragraphs [0023]-[0130], fig. 1-11	1-6, 10-17, 19
Y		7-17, 19
A		18
Y	JP 2005-114868 A (NTT ELECTORNICS CORP) 28 April 2005 (2005-04-28) paragraphs [0014]-[0029], fig. 1-3	7-17, 19
A		18
A	JP 2007-101641 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD) 19 April 2007 (2007-04-19) paragraphs [0001]-[0005], [0018]-[0038], fig. 2-5	1-19
A	US 2004/0066250 A1 (HUNT et al.) 08 April 2004 (2004-04-08) paragraphs [0029], [0032], [0059], claim 7, fig. 2	1-19

☐ 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
17 August 2023	**05 September 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/JP2023/022849

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2002-244168 A	28 August 2002	(Family: none)	
JP 2005-114868 A	28 April 2005	US 2007/0172184 A1 paragraphs [0075]-[0090], fig. 6-8 EP 1672410 A1	
JP 2007-101641 A	19 April 2007	US 2009/0129718 A1 paragraphs [0001]-[0009], [0040]-[0070], fig. 2-5 EP 1939669 A1 CN 101238404 A	
US 2004/0066250 A1	08 April 2004	CN 1636158 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/022849

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B 6/12(2006.01)i; G02F 1/035(2006.01)i
FI: G02F1/035; G02B6/12 363

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; G02B6/12-6/14; H01S5/00-5/50

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
X	JP 2002-244168 A (富士ゼロックス株式会社) 28.08.2002 (2002-08-28) [0023]-[0130],図1-11	1-6,10-17,19
Y		7-17,19
A		18
Y	JP 2005-114868 A (エヌティティエレクトロニクス株式会社) 28.04.2005 (2005-04-28) [0014]-[0029],図1-3	7-17,19
A		18
A	JP 2007-101641 A (住友大阪セメント株式会社) 19.04.2007 (2007-04-19) [0001]-[0005],[0018]-[0038],図2-5	1-19
A	US 2004/0066250 A1 (HUNT et al.) 08.04.2004 (2004-04-08) [0029],[0032],[0059],請求項7,図2	1-19

☐ 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
17.08.2023	05.09.2023

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/JP2023/022849

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2002-244168 A	28.08.2002	（ファミリーなし）	
JP 2005-114868 A	28.04.2005	US 2007/0172184 A1 [0075]-[0090],図6-8 EP 1672410 A1	
JP 2007-101641 A	19.04.2007	US 2009/0129718 A1 [0001]-[0009],[0040]-[0070],図2-5 EP 1939669 A1 CN 101238404 A	
US 2004/0066250 A1	08.04.2004	CN 1636158 A	