

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2008年10月9日 (09.10.2008)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2008/120718 A1

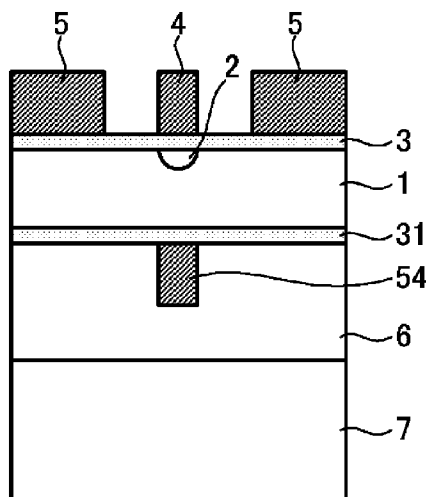
- (51) 国際特許分類:  
G02F 1/035 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/056086
- (22) 国際出願日: 2008年3月28日 (28.03.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2007-092750 2007年3月30日 (30.03.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友大阪セメント株式会社 (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町6番地28 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 及川 哲 (OIKAWA, Satoshi) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町6番地28 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 市川 潤一郎 (ICHIKAWA, Junichiro) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町6番地28 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 金原 勇貴 (KINPARA, Yuhki) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町6番地28 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 須山 佐一 (SUYAMA, Saichi); 〒1010046 東京都千代田区神田多町2丁目1番地 神田東山ビル Tokyo (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,

[続葉有]

(54) Title: LIGHT CONTROL ELEMENT

(54) 発明の名称: 光制御素子

【図4】



(57) Abstract: In a light control element comprising a thin plate having a thickness of 10  $\mu$ m or less and exhibiting electrooptic effect, an optical waveguide formed on the thin plate, and a control electrode for controlling light passing through the optical waveguide, the control electrode includes a first electrode and a second electrode so arranged as to sandwich the thin plate, and the first electrode has a coplanar electrode consisting of a first signal electrode and a ground electrode, while the second electrode has a second signal electrode. Modulation signals having mutually inverted amplitudes are inputted to the first signal electrode of the first electrode and the second signal electrode of the second electrode such that the modulation signals cooperate to apply an electric field to the optical waveguide.

(57) 要約: 電気光学効果を有し、厚みが10  $\mu$ m以下の薄板と、前記薄板に形成された光導波路と、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有する光制御素子において、前記制御電極は、前記薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とを含み、前記第1電極

[続葉有]



WO 2008/120718 A1



BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告書  
— 補正書・説明書

---

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し、前記第2電極は、少なくとも第2信号電極を有し、前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極には、互いに振幅が反転した変調信号を入力し、互いに協働して前記光導波路に電界を印加するように構成する。

## 明 細 書

## 光制御素子

## 技術分野

[0001] 本発明は、光制御素子に関し、特に、電気光学効果を有し、厚みが $10\mu\text{m}$ 以下の薄板と、前記薄板に形成された光導波路と、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有する光制御素子に関する。

## 背景技術

[0002] 従来、光通信分野や光測定分野において、電気光学効果を有する基板上に光導波路や制御電極を形成した導波路型光変調器や導波路型光スイッチなどの各種の光制御素子が多用されている。現在利用されている光制御素子の多くの形態は、図1に示すような、厚さ $0.5\sim 1\text{mm}$ 程度の電気光学結晶基板1に、光導波路2や信号電極4及び接地電極5を形成したものである。なお、図1はZカット型 $\text{LiNbO}_3$ 基板を用いた光変調器の例であり、符号3は $\text{SiO}_2$ 膜などのバッファ層を示している。

[0003] 特に、導波路型光変調器においては、光導波路内を伝搬する光波を変調制御するため、マイクロ波信号が制御電極に印加されている。このため、マイクロ波が効率的に制御電極を伝搬するためには、マイクロ波を光変調器に導入する同軸ケーブルなどの信号線路と光変調器内の制御電極とのインピーダンス整合を図る必要がある。このため、図1に示すように、信号電極4を接地電極5で挟み込む形状、いわゆるコプレーナ型の制御電極が利用されている。

[0004] しかしながら、コプレーナ型制御電極の場合には、基板1の電気光学効果の効率が高い方向(図1のZカット型 $\text{LiNbO}_3$ 基板の場合には、上下方向が前記方向に該当する)に、効率的に外部電界が作用しないため、必要な光変調度を得るために、より大きな電圧が必要となる。具体的には、 $\text{LiNbO}_3$ 基板を利用し、光導波路に沿った電極長が $1\text{cm}$ の場合には、約 $10\sim 15\text{V}$ 程度の半波長電圧が必要となる。

[0005] また、図2に示すように、特許文献1には、光導波路の光波の閉じ込めを改善し、制御電極が生成する電界をより効率良く光導波路に印加するために、光導波路をリッジ型導波路20とし、信号電極4及び41に対して、接地電極5、51、52をより近接配

置する構成が提案されている。この構成により、ある程度の駆動電圧の低減は実現できるが、特に、高周波帯域における高速変調を実現するには、より一層の駆動電圧の低減が不可欠である。

[0006] また、特許文献2には、図3に示すように、基板を制御電極で挟み込み、電気光学効果の効率が低い方向(図3のZカット型LiNbO<sub>3</sub>基板の場合には、上下方向が前記方向に該当する)に電界を印加することが提案されている。しかも、図3の光変調器は、電気光学効果を有する基板を分極反転し、自発分極の方向(図中の矢印方向)が異なる基板領域10A及び10Bを形成すると共に、各基板領域には光導波路2が形成されており、共通の信号電極42と接地電極53で各光導波路に電界を印加した場合には、各光導波路を伝搬する光波には逆向きの位相変化を発生させることが可能となる。このような差動駆動により、駆動電圧をより一層低下させることが可能となる。

[0007] しかしながら、図3のような電極構造では、マイクロ波の屈折率が高くなり、光導波路を伝搬する光波と変調信号であるマイクロ波との速度整合を取ることが困難となる。しかも、インピーダンスは逆に低くなるため、マイクロ波の信号線路とのインピーダンス整合を取ることが難しくなるという欠点がある。

[0008] 他方、以下の特許文献3又は4においては、30 μm以下の厚みを有する極めて薄い基板(以下、「薄板」という)に、光導波路並びに変調電極を組み込み、前記薄板より誘電率の低い他の基板を接合し、マイクロ波に対する実効屈折率を下げ、マイクロ波と光波との速度整合を図ることが行われている。

[0009] しかしながら、このような薄板を用いた光変調器に対して、図1乃至図3のような構造の制御電極を形成した場合であっても、依然として、上述した問題は、根本的に解消されていない。図3のような制御電極で基板を挟み込む場合には、基板の厚みを薄くした場合、マイクロ波屈折率は下がる傾向にあるが、光波とマイクロ波との速度整合を実現するのは困難である。電極の幅にも依存するが、例えば、LNの薄板を用いた場合で、実効屈折率が約5程度であり、最適値である2.14には及ばない。他方、インピーダンスは、基板が薄くなるに従い下がる傾向となり、インピーダンス不整合が拡大する原因となる。

特許文献1:米国特許明細書第6, 580, 843号

特許文献2:特許登録第3638300号明細書

特許文献3:特開昭64-18121号公報

特許文献4:特開2003-215519公報

特許文献5:特開平6-289341号公報

## 発明の開示

### [0010] (発明が解決しようとする課題)

本発明が解決しようとする課題は、上述したような問題を解決し、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能であり、変調効率に優れた光制御素子を提供することである。

[0011] また、駆動電圧の低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供することであり、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することである。

### [0012] (課題を解決するための手段)

上記課題を解決するため、請求項1に係わる発明では、  
電気光学効果を有し、厚みが10  $\mu$  m以下の薄板と、前記薄板に形成された光導波路と、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有する光制御素子において、

前記制御電極は、前記薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とを含み、  
前記第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し、

前記第2電極は、少なくとも第2信号電極を有し、  
前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極には、互いに位相が反転した変調信号を入力し、互いに協働して前記光導波路に電界を印加するように構成されたことを特徴とする、光制御素子に関する。なお、「位相が反転した」とは、電界の符号の向きが逆であって、振幅の比率が一定である場合を言う。

[0013] 本発明における「コプレーナ型の電極」とは、信号電極を接地電極で挟んだものを意味し、例えば、信号電極と接地電極とが同じ間隔で配置している構造、間隔が異

なる構造、接地電極が信号電極の片側の構造や、複数の信号電極を一对の接地電極で挟むものや、さらに、複数の信号電極の間に接地電極を追加配置するものなども含むものである。

- [0014] 請求項2に係わる発明では、請求項1に記載の光制御素子において、前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極は、前記光導波路が前記第1信号電極及び前記第2信号電極間に位置するように配置したことを特徴とする。
- [0015] 請求項3に係わる発明では、請求項1又は2に記載の光制御素子において、前記第2電極は、前記第2信号電極下において、前記第2信号電極と結合するようにして形成された平板状の補助電極を有することを特徴とする。
- [0016] 請求項4に係わる発明では、請求項1～3のいずれか一に記載の光制御素子において、前記制御電極は、前記第2電極の下方に位置するように形成された接地電位の第3電極を含むことを特徴とする。
- [0017] 請求項5に係わる発明では、請求項1～4のいずれか一に記載の光制御素子において、前記光導波路がリッジ型光導波路であることを特徴とする。
- [0018] 請求項6に係わる発明では、請求項1～5のいずれか一に記載の光制御素子において、少なくとも前記薄板と前記第1電極との間には、バッファ層が形成されていることを特徴とする。
- [0019] 請求項7に係わる発明では、請求項1～5のいずれか一に記載の光制御素子において、前記第1の電極及び前記第2の電極において、前記信号電極及び前記接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されていることを特徴とする。
- [0020] 請求項8に係わる発明では、請求項5～7のいずれか一に記載の光制御素子において、少なくとも前記リッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されていることを特徴とする。
- [0021] 請求項9に係わる発明では、請求項1～8のいずれか一に記載の光制御素子において、前記光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されていることを特徴とする。

## [0022] (発明の効果)

請求項1に係わる発明により、電気光学効果を有し、厚みが10  $\mu$  m以下の薄板と、前記薄板に形成された光導波路と、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有する光制御素子において、前記制御電極は、前記薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とからなり、前記第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し、前記第2電極は、少なくとも接地電極を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して前記光導波路に電界を印加するように構成されているため、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、高速動作が可能な光制御素子を提供することができる。

[0023] しかも、前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極には、互いに振幅が反転した変調信号を入力し、互いに協働して前記光導波路に電界を印加するように構成されている。したがって、前記光導波路内を導波する光信号に対してより効果的な変調を行うことができ、変調効率を高めることができる。換言すれば、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能であって、高い変調効率で変調することが可能な光制御素子を提供することができる。また、駆動電圧の低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供することができ、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することができるようになる。

[0024] 請求項2に係わる発明より、前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極は、前記光導波路が前記第1信号電極及び前記第2信号電極間に位置するように配置しているので、それぞれの信号電極を光導波路に対してより近接して配置することができる。したがって、前記光導波路中を導波する光波に対してより高い変調効率を付加することができるようになる。換言すれば、比較的低い駆動電圧においても、十分高い変調効率で変調を行うことができ、駆動電圧のさらなる低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供することができ、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することができるようになる。

- [0025] 請求項3に係わる発明より、前記第2電極は、前記第2信号電極下において、前記第2信号電極と結合するようにして形成された平板状の補助電極を有している。この場合、前記第2電極は、前記第2信号電極及び前記補助電極を一体として形成することができ、したがって、例えば以下に詳述するように、支持基板上に前記第2電極を載置し、後に薄板形成及び光導波路形成、並びに第1電極形成などを順次に形成することによって、請求項1あるいは請求項2で規定されたような、信号電極と光導波路との位置関係を満足した光制御素子を得ることができる。
- [0026] 請求項4に係わる発明より、前記制御電極は、前記第2電極の下方に位置するように形成された接地電位の第3電極を含むので、前記第2電極の前記第2信号電極に対するインピーダンスやマイクロ波屈折率を制御することができ、好ましくは前記第3電極の厚さや前記第2電極の前記第2信号電極の幅及び厚さなどを適宜に調節することによって、第2電極(及び第3電極)のインピーダンス及びマイクロ波屈折率を第1電極のインピーダンス及びマイクロ波屈折率とほぼ同一とすることができる。したがって、第1電極の第1信号電極及び第2電極の第2信号電極に、単に振幅が互いに反転した変調信号を入力するのみで、約2倍の変調効率で光導波路内を導波する光波の変調を行うことができる。
- [0027] 請求項5に係わる発明により、光導波路はリッジ型光導波路であるため、光波の閉じ込め効率がよく、また、制御電極が形成する電界を光導波路に集中させることが可能となり、より低駆動電圧の光制御素子を実現することができる。
- [0028] 請求項6に係わる発明により、少なくとも薄板と、第1電極の間にはバッファ層が形成されているため、光導波路を伝搬する光波の伝搬損失を抑制しながら、制御電極を光導波路のより近傍に配置することが可能となる。
- [0029] 請求項7に係わる発明により、信号電極又は接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されているため、バッファ層が無い場合でも、光導波路を伝搬する光波の伝搬損失を抑制しながら、制御電極を光導波路のより近傍に配置することが可能となる。
- [0030] 請求項8に係わる発明により、少なくともリッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されているため、制御電極におけるマイクロ波屈折率やインピー

ダンスの調整が可能となり、より適切なマイクロ波屈折率やインピーダンスを得ることができる。

[0031] 請求項9に係わる発明により、請求項1～10のいずれか一に記載の光制御素子において、光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されているため、光制御素子の差動駆動が簡便な制御電極や駆動回路で容易に実現できる上、駆動電圧を低減することも可能となる。

#### 図面の簡単な説明

[0032] [図1]従来の光制御素子の例を示す図である。

[図2]同じく、従来の光制御素子の例を示す図である。

[図3]同じく、従来の光制御素子の例を示す図である。

[図4]本発明の光制御素子の例を示す図である。

[図5]同じく、本発明の光制御素子の例を示す図である。

[図6]図4に示す光制御素子の変形例を示す図である。

[図7]本発明のリッジ型光制御素子の例を示す図である。

[図8]同じく、本発明のリッジ型光制御素子の例を示す図である。

[図9]同じく、本発明のリッジ型光制御素子の例を示す図である。

[図10]低誘電率膜を有する光制御素子の例を示す図である。

[図11]同じく、低誘電率膜を有する光制御素子の例を示す図である。

[図12]薄板の裏面側に光導波路を形成した光制御素子の例を示す図である。

[図13]同じく、薄板の裏面側に光導波路を形成した光制御素子の例を示す図である。

。

[図14]透明電極を利用した光制御素子の例を示す図である。

[図15]同じく、透明電極を利用した光制御素子の例を示す図である。

[図16]同じく、透明電極を利用した光制御素子の例を示す図である。

[図17]分極反転を用いた光制御素子の例を示す図である。

[図18]同じく、分極反転を用いた光制御素子の例を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0033] 図4は、本発明の光制御素子に係わる一例を示す断面図である。本例では、光導

波路が形成されるべき薄板をZカット型LiNbO<sub>3</sub>基板から構成した場合について示しており、また、前記光制御素子の要部のみを示している。

[0034] 図4に示すように、Zカット型基板(薄板1)中には光導波路2が形成され、薄板1を挟むように制御電極が配置されている。制御電極としては、薄板1の上側に配置された第1電極と、薄板の下側に配置された第2電極とがある。第1電極は、信号電極(第1信号電極)4及び接地電極5を含み、第2電極は信号電極(第2信号電極)54を含んでいる。第1電極及び第2電極には、図示した電極以外にDC電極など、必要な電極を適宜付加できることは言うまでもない。また、光導波路としては、直線導波路または直線導波路を組み合わせたマツハツェンダー型干渉系を構成してもよい。

[0035] 図4の光制御素子の特徴は、光導波路2に対して信号電極4と接地電極5とによる電界以外に、信号電極4及び54による電界が印加されることである。すなわち、これらの信号電極に、互いに振幅が反転した変調信号を入力するようにすることによって、光導波路2中を導波する光波には、信号電極4からの電界(変調)と信号電極54からの電界(変調)とがほぼ同位相で同時に印加されることになる。したがって、前記光波に対してより高い効率での変調が可能となる。なお、変調信号が単一周波数のサイン波形の場合には、信号電極4と信号電極54の位相差を反転させることで、光導波路2に対して高い効率での変調が可能となる。

[0036] 一方、本例では、薄板1の厚さが10 $\mu$ m以下と極めて薄いので、光導波路2に対する縦方向の電界を強くすることができ、駆動電圧を低減させることが可能となる。しかも、制御電極におけるマイクロ波の屈折率及びインピーダンスは、信号電極4と接地電極5及び54により決定されるため、例えば、最適値であるマイクロ波屈折率2.14、インピーダンス50 $\Omega$ に設定することも可能となる。

[0037] なお、本例では、信号電極4及び54間に光導波路2が位置しているので、光導波路2に対して、信号電極4及び54はより近接して位置するようになる。したがって、光導波路2には、信号電極4及び54からより強い電界が印加されるようになり、駆動電圧をより低減できるとともに、より高い効率で変調を行うことができる。

[0038] 第1の電極は、薄板1との間にSiO<sub>2</sub>膜などのバッファ層3を介して配置されている。バッファ層には、光導波路を伝搬する光波が、制御電極により吸収又は散乱されるこ

とを防止する効果を有している。また、バッファ層の構成としては、必要に応じ、薄板1の焦電効果を緩和するため、Si膜などを組み込むことも可能である。

[0039] また、第2の電極(接地電極54)は、薄板1との間に、第1の電極の信号電極4の幅よりも大きく、信号電極4の長さ方向の全体に亘って形成された基板1よりも誘電率の低い低誘電率層31を介して配置されている。したがって、電極損を低減し、光の閉じ込めを強くすることができる。これにより、高周波まで対応可能で、高効率な変調器を実現することができる。

[0040] 換言すれば、本実施形態の光制御素子によれば、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能で変調効率に優れた光制御素子を提供することができるようになる。また、駆動電圧の低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供することができ、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することができるようになる。

[0041] なお、本実施形態では、光導波路2に対して信号電極4と接地電極5による電界以外に、信号電極4と接地電極54とによる電界が十分に印加されるようにすべく、薄板1の厚さは $10\ \mu\text{m}$ 以下とする。また、薄板1の下限值は特に限定されるものではないが、例えば $0.7\ \mu\text{m}$ とする。これよりも薄いと十分な大きさの光導波路2を形成することが困難になる。

[0042] 薄板1は、第2電極が形成された後に、接着層6を介して支持基板7に接合される。これにより、薄板1が $10\ \mu\text{m}$ 以下の場合でも、光制御素子として十分な機械的強度を確保することが可能となる。

[0043] 図5は、図4に示す光制御素子の変形例を示す断面図である。本例においては、第2電極は、信号電極54下において、この信号電極54と結合するようにして形成された平板状の補助電極57を有している。この場合、第2電極は、信号電極54及び補助電極57を一体として形成することができ、したがって、図5に示すように、支持基板7上に前記第2電極を載置し、後に薄板1形成及び光導波路2形成、並びに第1電極4、5形成などを順次に行うことによって、信号電極4及び54間に光導波路2が位置するようになる。したがって、本例によれば、簡易な形成工程で上述した作用効果を

奏する光制御素子を得ることができる。

[0044] 図6は、図4に示す光制御素子の他の変形例を示す断面図である。本例においては、第2電極である信号電極54の下方において、接着層6を介して接地電位の第3電極58を形成するようにしている。したがって、信号電極54に対するインピーダンスやマイクロ波屈折率を制御することができ、好ましくは第2電極54及び第3電極58間距離や信号電極54の幅及び厚さなどを適宜に調節することによって、信号電極54（及び第3電極58）のインピーダンス及びマイクロ波屈折率を第1電極4、5のインピーダンス及びマイクロ波屈折率とほぼ同一とすることができる。したがって、第1電極の信号電極4及び第2電極の信号電極54に、単に振幅が互いに反転した変調信号を入力するのみで、約2倍の変調効率で光導波路内を導波する光波の変調を行うことができる。

[0045] 薄板に使用される電気光学効果を有する結晶性基板としては、例えば、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、PLZT（ジルコン酸チタン酸鉛ランタン）、及び石英系の材料及びこれらの組み合わせが利用可能である。特に、電気光学効果の高いニオブ酸リチウム(LN)やタンタル酸リチウム(LT)結晶が好適に利用される。

[0046] 光導波路の形成方法としては、Tiなどを熱拡散法やプロトン交換法などで基板表面に拡散させることにより形成することができる。また、特許文献5のように薄板1の表面に光導波路の形状に合わせてリッジを形成し、光導波路を構成することも可能である。

[0047] 信号電極や接地電極などの制御電極は、Ti・Auの電極パターンの形成及び金メッキ方法などにより形成することが可能である。また、後述する透明電極については、ITOや赤外透明導電膜であるInとTiの複合酸化物膜などが利用可能であり、フォトリソグラフィ法により電極パターンを形成しリフトオフ法によって形成する方法や、所定の電極パターンが残るようにマスク材を形成し、ドライエッチング、あるいはウエットエッチングにて形成する方法などが使用可能である。（特許文献5参照）

[0048] 光制御素子を含む薄板1の製造方法は、数百 $\mu\text{m}$ の厚さを有する基板に上述した光導波路を形成し、基板の裏面を研磨して、10 $\mu\text{m}$ 以下の厚みを有する薄板を作成する。その後薄板の表面に制御電極を作り込む。また、光導波路や制御電極など

の作り込みを行った後に、基板の裏面を研磨することも可能である。なお、光導波路形成時の熱的衝撃や各種処理時の薄膜の取り扱いによる機械的衝撃などが加わると、薄板が破損する危険性もあるため、これらの熱的又は機械的衝撃が加わり易い工程は、基板を研磨して薄板化する前に行うことが好ましい。

[0049] 支持基板7に使用される材料としては、種々のものが利用可能であり、例えば、薄板と同様の材料を使用する他に、石英、ガラス、アルミナなどのように薄板より低誘電率の材料を使用したり、薄板と異なる結晶方位を有する材料を使用することも可能である。ただし、線膨張係数が薄板と同等である材料を選定することが、温度変化に対する光制御素子の変調特性を安定させる上で好ましい。仮に、同等の材料の選定が困難である場合には、薄板と支持基板とを接合する接着剤に、薄板と同等な線膨張係数を有する材料を選定する。

[0050] 以下に、本発明に係わる光制御素子の応用例について説明する。なお、以下の図面には、前出した部材と同じ部材を用いる場合には、可能な限り同じ符号を用い、さらに、構成の特徴を明確にするため、必要に応じ接着層や支持基板を省略して記載している。また、記載が冗長となるのを防止すべく、図4に示す実施形態を中心とした応用例について説明するようにしている。

[0051] (リッジ型導波路を有する光制御素子)

図7～9は、図4に示す光制御素子に係わる応用例であり、光導波路をリッジ型導波路で形成した例を示す。光導波路をリッジ型光導波路で形成することにより、光波の閉じ込め効率が高くなり、また、制御電極が形成する電界を光導波路に集中させることが可能となるため、より低駆動電圧の光制御素子を実現することができる。

[0052] 図7に示すように、光制御素子の光導波路をリッジ型導波路20とすることによって、リッジ部20に伝搬する光波を閉じ込めている。リッジ部20には、信号電極4と接地電極5とが形成する電界と、信号電極4及び54とが形成する電界とが集中的に印加されるため、光制御素子の駆動伝達を低減させることにも寄与する。

[0053] 図8は、2つの光導波路2をリッジ型導波路20とするものである。リッジ型導波路に対応して信号電極4及び41が配置され、信号電極には互いに逆向きの信号などが印加されている。例えば、左側のリッジ部20についてみると、信号電極4と接地電極5

とが形成する電界と、信号電極4及び54とが形成する電界と、さらには信号電極4と信号電極41とが形成する電界とが集中的に印加される。

[0054] 図9は、2つの光導波路2をリッジ型導波路20とすると共に、2つの光導波路間に、接地電極51に対応したリッジ部を形成したものである。リッジ型導波路20に対応して信号電極4及び41が配置され、信号電極には個々独立した信号などが印加されている。

[0055] 例えば、左側のリッジ部20についてみると、信号電極4と接地電極5とが形成する電界と、信号電極4及び54とが形成する電界と、さらには信号電極4と接地電極51とが形成する電界とが集中的に印加される。

[0056] (低誘電率膜を有する光制御素子)

図10及び11は、図4に示す光制御素子に係わる他の応用例であり、リッジ型導波路を形成する溝や、第1電極を構成する信号電極4と接地電極5との間に低誘電率膜を配置した例を示す。このような低誘電率膜の配置により、制御電極におけるマイクロ波屈折率やインピーダンスの調整が可能となり、また、制御電極の配線の自由度を増加させることが可能となる。

[0057] 低誘電率膜の材料としては、ベンゾシクロブテン(BCB)などが使用でき、低誘電率膜の製造方法として、塗付法などが利用できる。

[0058] 図10に示すように、リッジ型導波路20の両側に形成される溝や、信号電極4と接地電極5との間、あるいは第1電極を覆うように低誘電率膜8を形成することができる。

[0059] また、図11に示すように、接地電極5を跨ぐように信号電極4の給電部42を配置し、接地電極4と給電部42との間には低誘電率膜8が配置される。これにより、制御電極の立体的な配線が可能となり、制御電極に係わる配線設計の自由度が増加する。さらに、接地電極を信号電極の上方(薄板から離れる位置)を通過させることも可能である。

[0060] (薄板の裏面側に光導波路を形成した光制御素子)

図12及び13は、図4に示す光制御素子に係わるその他の応用例であり、光導波路2(リッジ型導波路20)を薄板1の裏面(図の下側)に形成した例を示す。厚みが10  $\mu$ m以下の薄板を使用する場合には、図12のように、光導波路2を薄板1の裏面に

形成し、第1電極である信号電極4及び接地電極5を薄板の表面に、また、第2電極である信号電極54を薄板1の裏面に形成しても、特に信号電極4及び54とが形成する電界により、リッジ部20に電界を印加させることが可能となる。

[0061] また、図13は、2つの信号電極4及び41を用いた例であり、左側のリッジ部20に対しては、特に信号電極4及び54とが形成する電界により、また、右側のリッジ部20に対しては、特に信号電極41と信号電極54とが形成する電界により、電界が印加される。

[0062] なお、各リッジ部20を形成する溝には、必要に応じて低誘電率膜81が形成することができる。

[0063] 図7～9のような光制御素子の場合には、リッジ型導波路のリッジ部の頂上に信号電極4や41を正確に配置することが必要であるが、図12及び13のような光制御素子の場合には、信号電極4や41の幅をリッジ型導波路の幅以上に設定するだけで、両者間に若干の位置ズレが発生しても、効率よくリッジ部に電界を印加することができるという利点を有している。

[0064] (透明電極を利用した光制御素子)

図14～16は、図4に示す光制御素子に係わるさらにその他の応用例であり、透明電極(9及び91至96)を電極に使用した例を示す。信号電極又は接地電極に、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかを用いることにより、バッファ層が無い場合でも、光導波路を伝搬する光波の伝搬損失を抑制しながら、制御電極を光導波路のより近傍に配置することが可能となり、駆動電圧を低減させることができる。

[0065] 図14は、第2電極の信号電極に透明電極9を使用する例であり、図15は第1電極に透明電極91、92を使用する例である。これらの場合には、図14で示したバッファ層3が本質的に不要となり、電極を光導波路に近接して配置することが可能となる。なお、図15の第1電極を構成する接地電極(透明電極91)は、電極の近傍に光導波路が無い場合、通常の金属電極で形成しても良い。

[0066] 図16は、制御電極の一部(薄板1又は11に接する側)に、透明電極を使用する例を示すものである。透明電極は、一般的にAuなどの金属電極と比較して電気抵抗率

が高いため、電極の電気抵抗を下げる目的で、透明電極9や93乃至96に接触して金属電極140, 150, 151を配置することができる。また、透明電極は、93や95, 96に示したようにリッジ型導波路の近傍又はリッジ型光導波路の側面に配置することも可能であり、極めて効果的に電界を導波路に作用させることが可能となる。

[0067] なお、図16は、Zカット型LiNbO<sub>3</sub>基板を薄板として用いた例である。

[0068] (分極反転を用いた光制御素子)

図17及び18は、図4に示す光制御素子に係わるその他の応用例であり、薄板1を分極反転した例を示す。光導波路の少なくとも一部を含む薄板1の自発分極を反転させることにより、光制御素子の差動駆動が、簡便な制御電極や駆動回路で容易に実現でき、駆動電圧の低減も可能となる。

[0069] 図17は、薄板1の基板領域12と13とにおいて、互いに異なる向き(図中の矢印)に自発分極が揃えられている。第1電極を構成する信号電極43は、各基板領域12及び13に形成された光導波路2に対して、共通の電界を印加することが可能である。各光導波路においては互いに基板の分極方向が異なるため、光導波路を伝搬する光波の位相変化が逆の状態となり、結果として、差動駆動と同様の効果を得ることができる。

[0070] 図18は、薄板1の基板領域12と13との分極方向を互いに異なるように調整すると共に、リッジ型光導波路を利用した場合の例を示す。2つのリッジ型導波路20に電界を印加する信号電極44は共通であり、さらに、2つの信号電極44は接続線路45により導通されている。また、リッジ型導波路を形成する溝や、信号電極と接地電極5との間には、低誘電率膜8が形成されている。

#### 産業上の利用可能性

[0071] 本発明に係わる光制御素子によれば、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能であるとともに変調効率の高い光制御素子を提供することが可能となる。また、駆動電圧の低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供でき、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することが可能となる。

## 請求の範囲

- [1] 電気光学効果を有し、厚みが $10\mu\text{m}$ 以下の薄板と、前記薄板に形成された光導波路と、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有する光制御素子において、
- 前記制御電極は、前記薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とを含み、前記第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し、
- 前記第2電極は、少なくとも第2信号電極を有し、
- 前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極には、互いに位相が反転した変調信号を入力し、互いに協働して前記光導波路に電界を印加するように構成されたことを特徴とする、光制御素子。
- [2] 前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極は、前記光導波路が前記第1信号電極及び前記第2信号電極間に位置するように配置したことを特徴とする、請求項1に記載の光制御素子。
- [3] 前記第2電極は、前記第2信号電極下において、前記第2信号電極と結合するように形成された平板状の補助電極を有することを特徴とする、請求項1又は2に記載の光制御素子。
- [4] 前記制御電極は、前記第2電極の下方に位置するように形成された接地電位の第3電極を含むことを特徴とする、請求項1～3のいずれか一に記載の光制御素子。
- [5] 前記光導波路は、リッジ型光導波路であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一に記載の光制御素子。
- [6] 少なくとも前記薄板と前記第1電極との間には、バッファ層が形成されていることを特徴とする、請求項1～5のいずれか一に記載の光制御素子。
- [7] 前記第1の電極及び前記第2の電極において、前記信号電極及び前記接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されていることを特徴とする、請求項1～5のいずれか一に記載の光制御素子。

- [8] 少なくとも前記リッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されていることを特徴とする、請求項5～7のいずれか一に記載の光制御素子。
- [9] 前記光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されていることを特徴とする、請求項1～8のいずれか一に記載の光制御素子。

**補正された請求の範囲****[2008年7月30日 (30. 07. 2008) 国際事務局受理]**

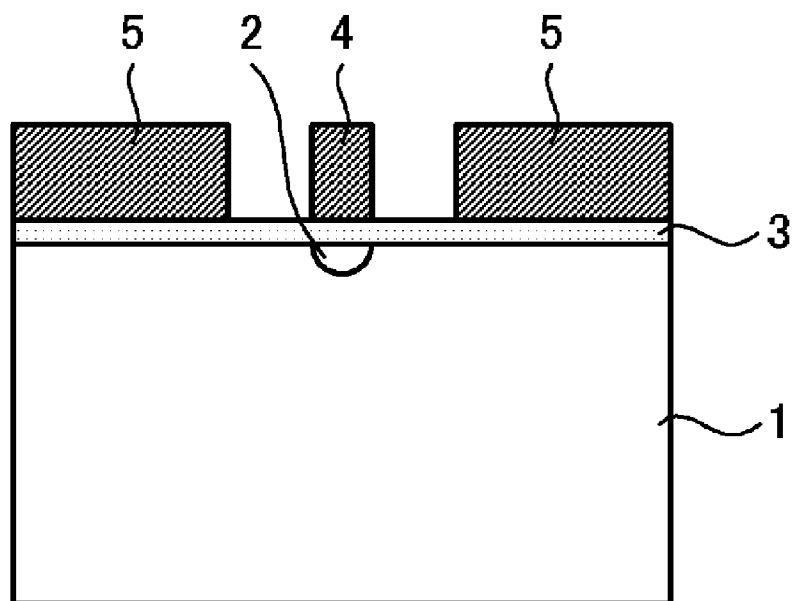
- [1] (補正後) 電気光学効果を有し、厚みが $10\mu\text{m}$ 以下の薄板と、前記薄板に形成された光導波路と、前記光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子において、
- 前記制御電極は、前記薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とを含み、
- 前記第1電極は、少なくとも第1信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極を有し、
- 前記第2電極は、少なくとも第2信号電極を有し、
- 前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極には、電界の符号の向きが逆であって、振幅の比率が一定である変調信号を入力し、互いに協働して前記光導波路に電界を印加するように構成されたことを特徴とする、光制御素子。
- [2] 前記第1電極の前記第1信号電極及び前記第2電極の前記第2信号電極は、前記光導波路が前記第1信号電極及び前記第2信号電極間に位置するように配置したことを特徴とする、請求項1に記載の光制御素子。
- [3] 前記第2電極は、前記第2信号電極下において、前記第2信号電極と結合するようにして形成された平板状の補助電極を有することを特徴とする、請求項1又は2に記載の光制御素子。
- [4] 前記制御電極は、前記第2電極の下方に位置するように形成された接地電位の第3電極を含むことを特徴とする、請求項1～3のいずれか一に記載の光制御素子。
- [5] 前記光導波路は、リッジ型光導波路であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一に記載の光制御素子。
- [6] (補正後) 少なくとも前記リッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されていることを特徴とする、請求項5に記載の光制御素子。
- [7] (補正後) 少なくとも前記薄板と前記第1電極との間には、バッファ層が形成されていることを特徴とする、請求項1～6のいずれか一に記載の光制御素子。

- [8] (補正後) 前記第1の電極及び前記第2の電極において、前記信号電極及び前記接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されていることを特徴とする、請求項1～7のいずれか一に記載の光制御素子。
- [9] 前記光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されていることを特徴とする、請求項1～8のいずれか一に記載の光制御素子。

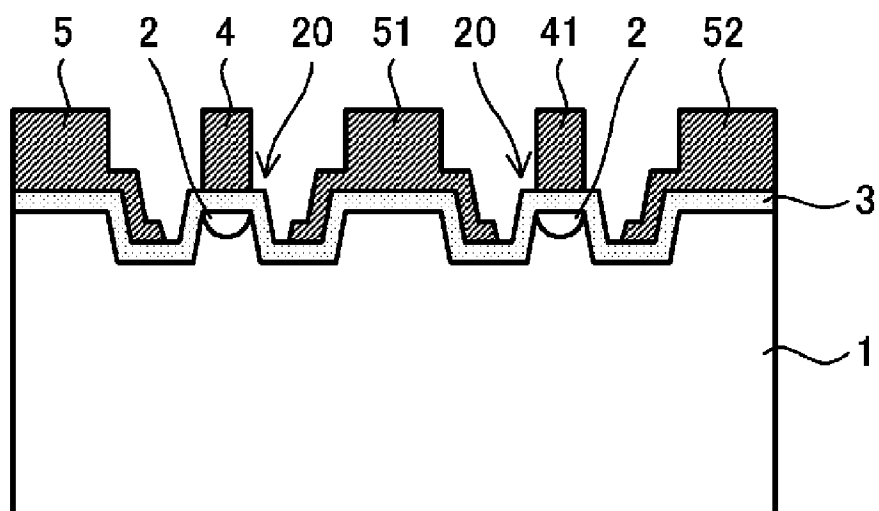
## 条約第19条(1)に基づく説明書

1. 請求項1では、“位相が反転した変調信号”なる文言を、“電界の符号の向きが逆であって、振幅の比率が一定である変調信号”として、その意義が明確となるようにしました。
2. 請求項6～8では、“リッジ型光導波路”の従属関係が明確になるように、従来の請求項8を請求項6とし、従来の請求項6及び7を請求項7及び8に繰り下げるようにしました。

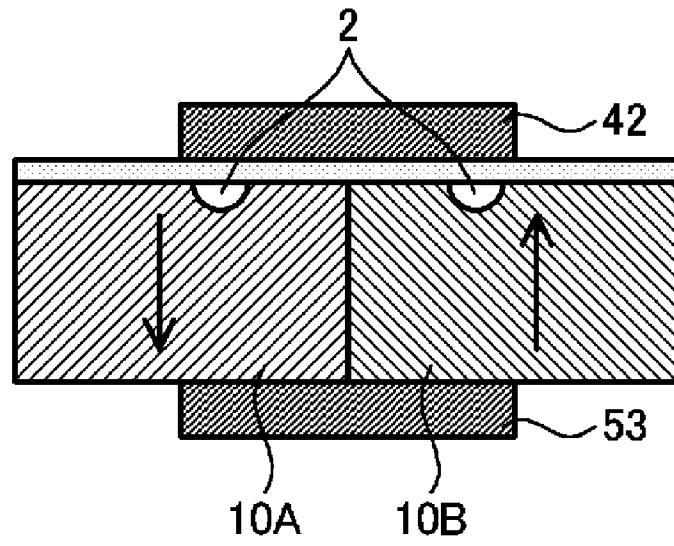
[図1]



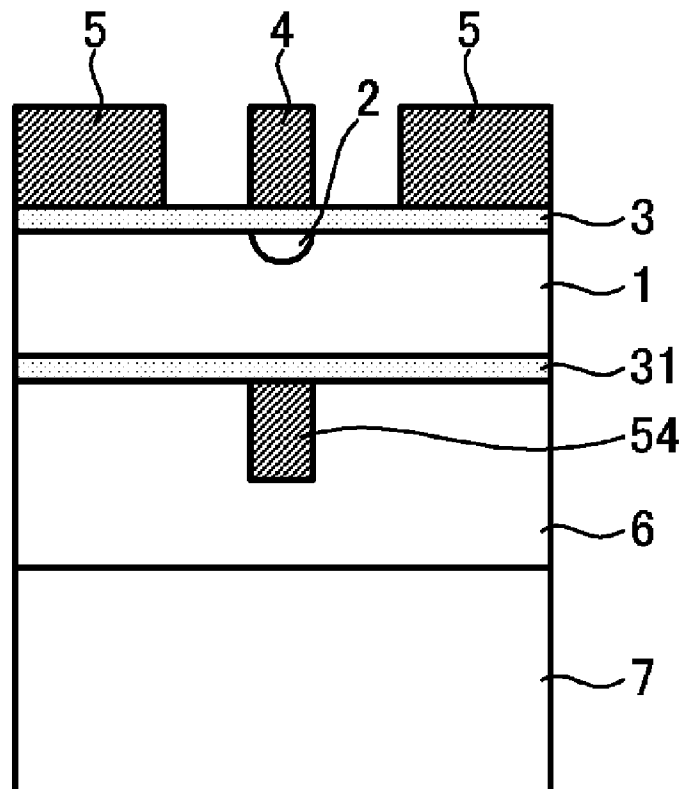
[図2]



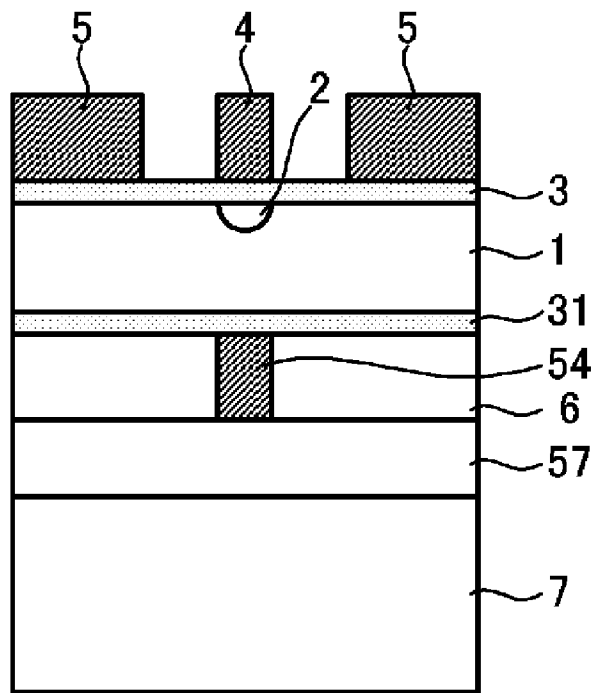
[図3]



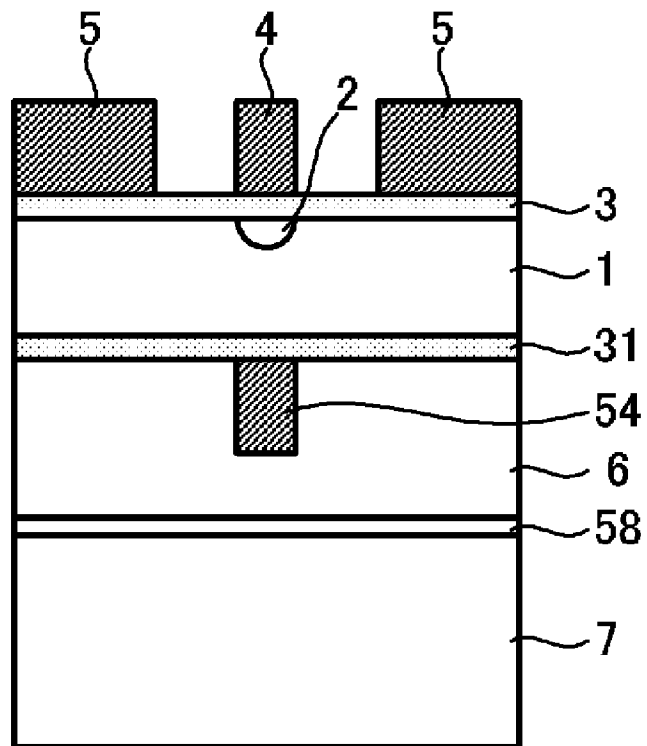
[図4]



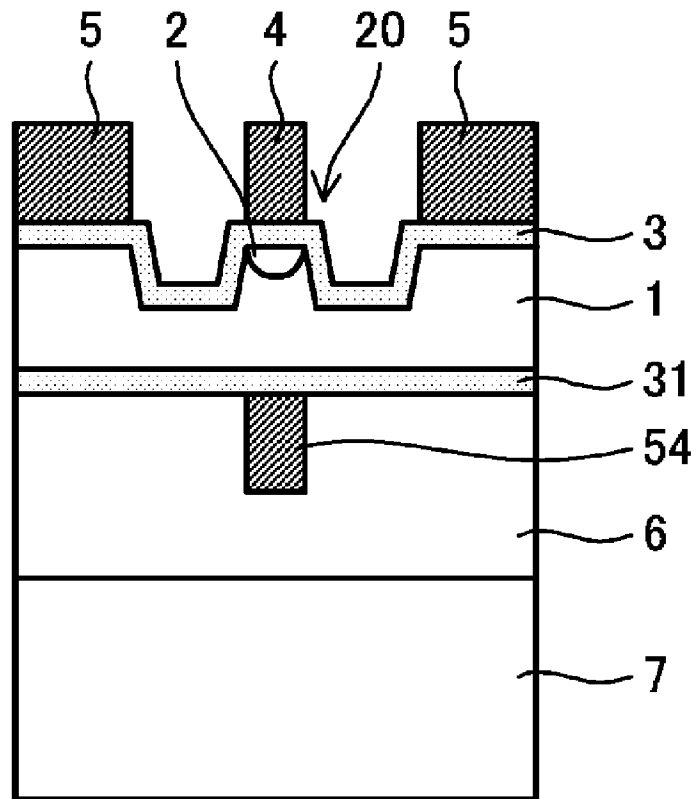
[図5]



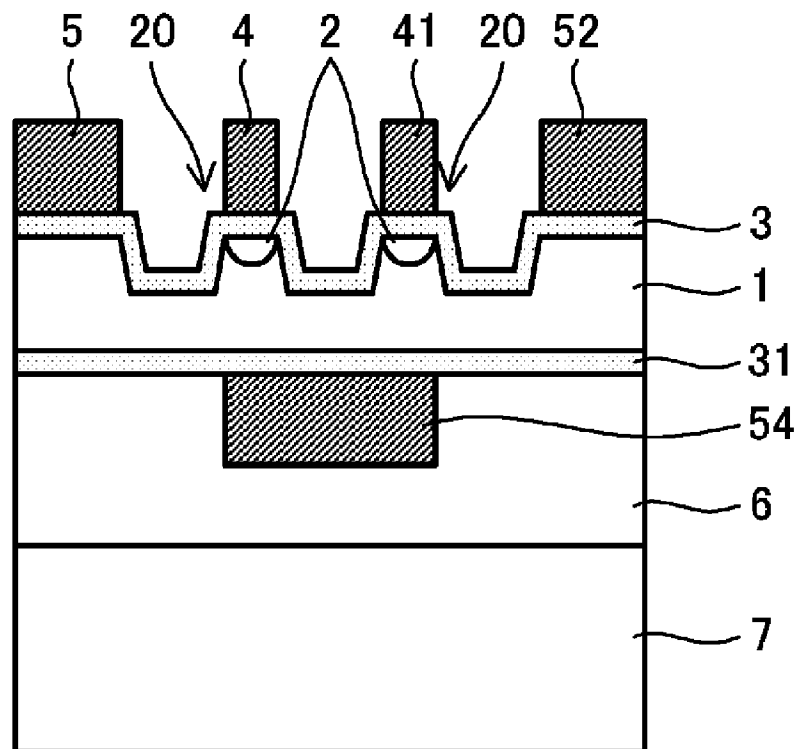
[図6]



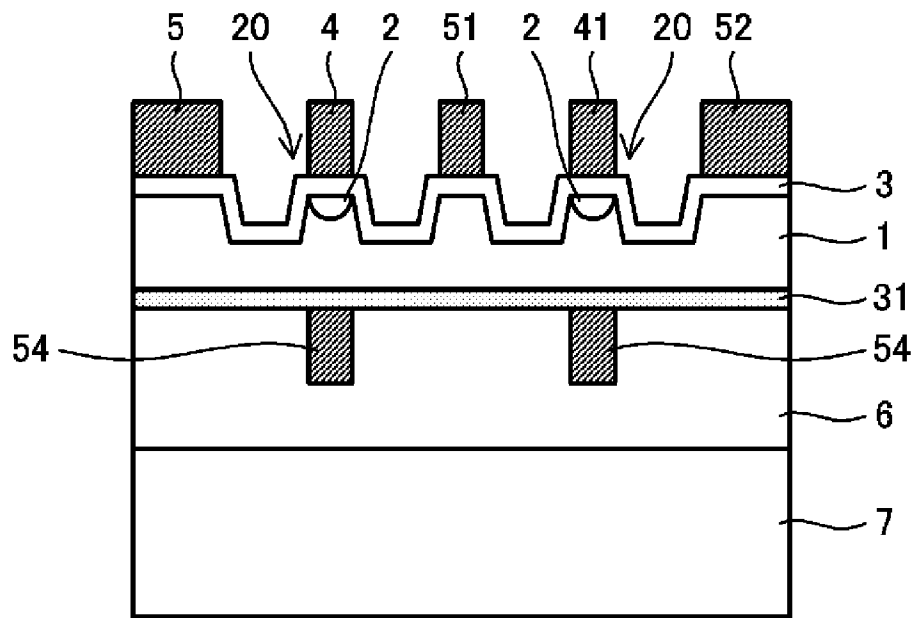
[図7]



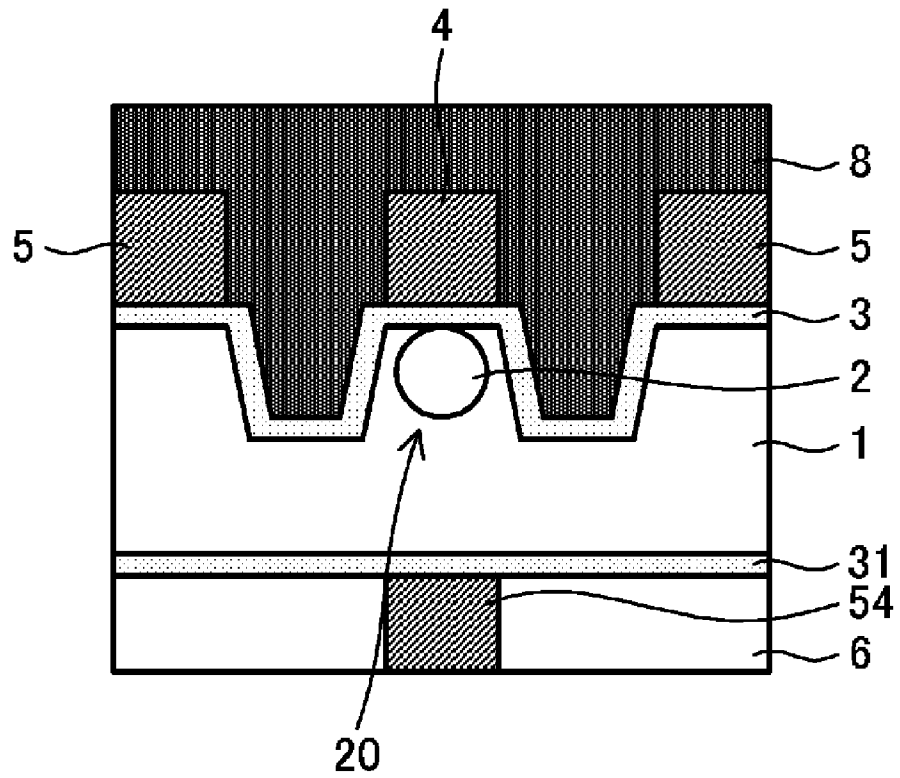
[図8]



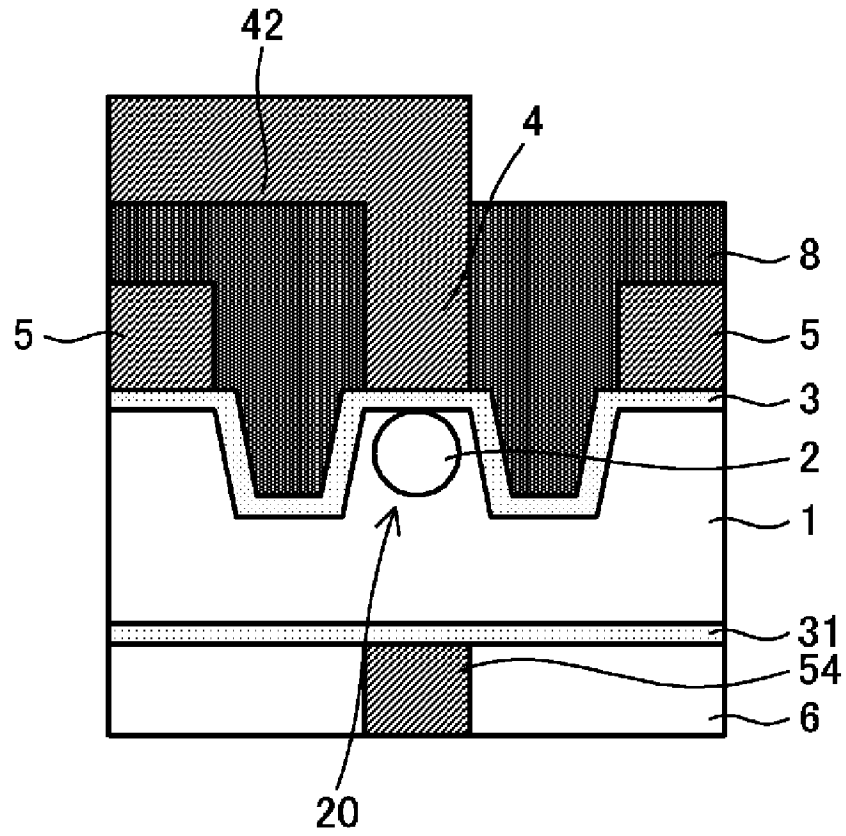
[図9]



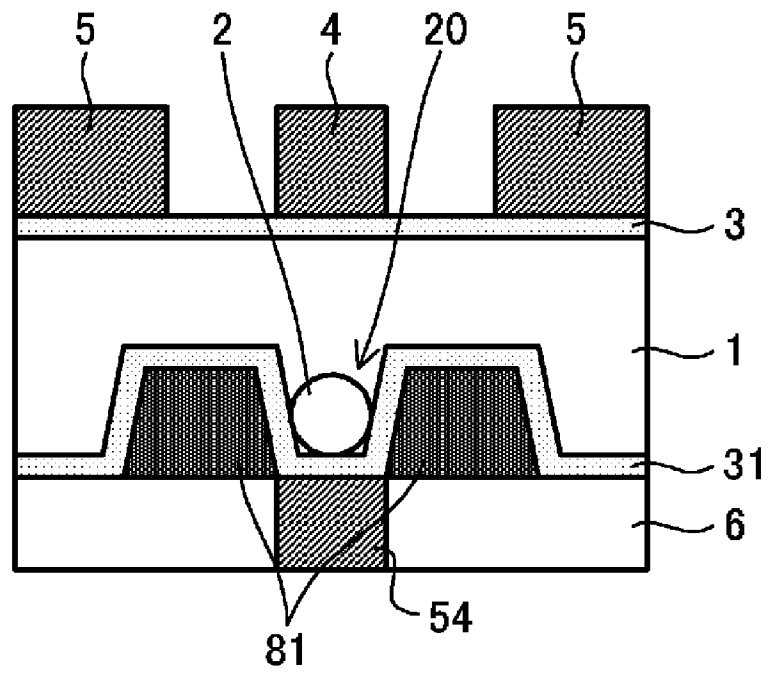
[図10]



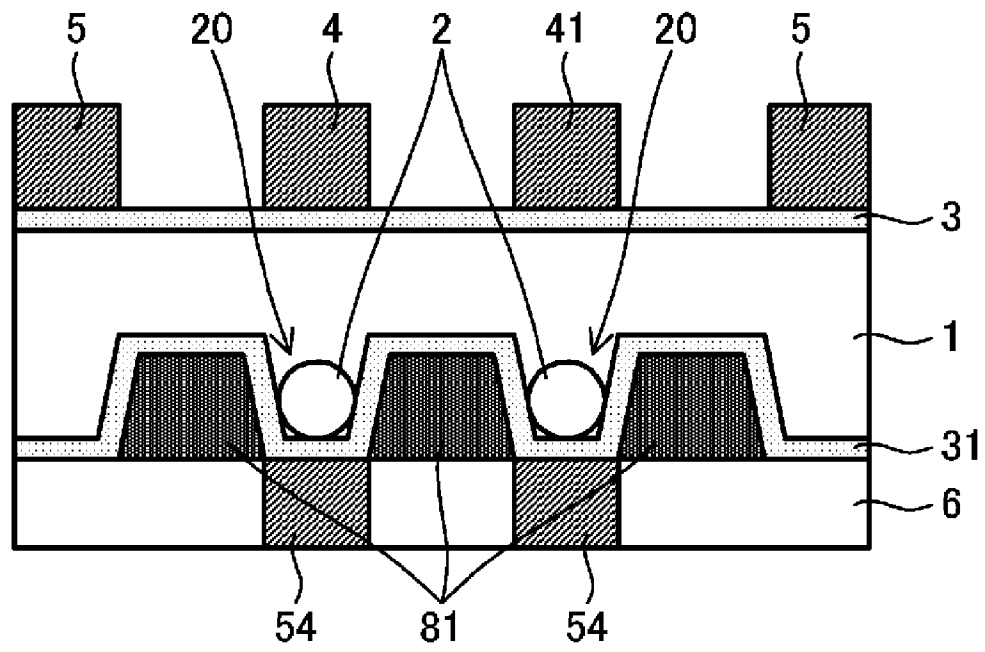
[図11]



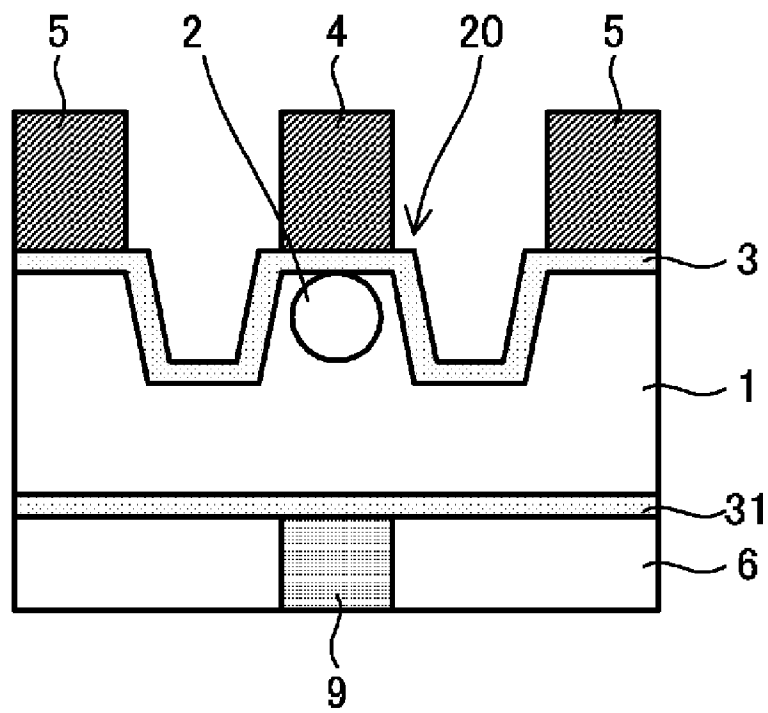
[図12]



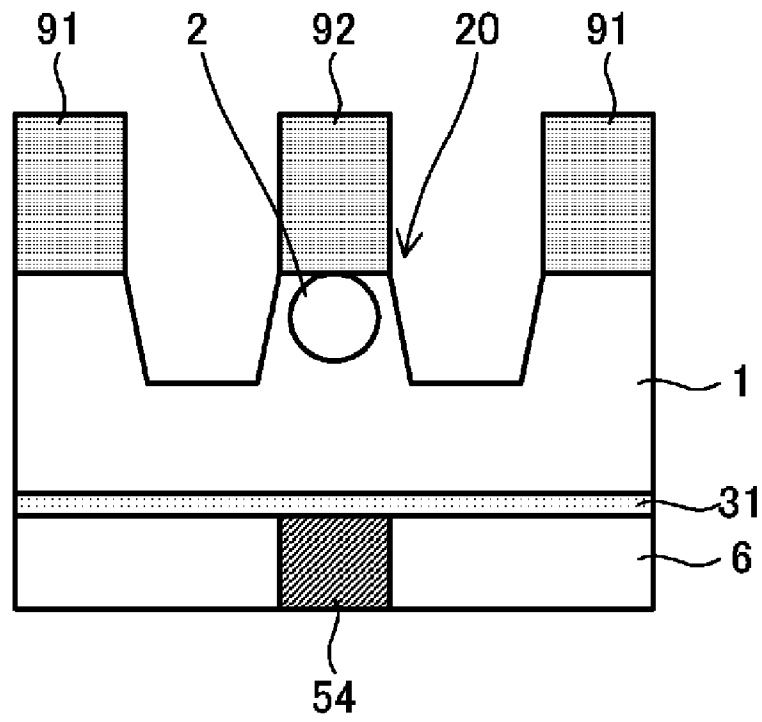
[図13]



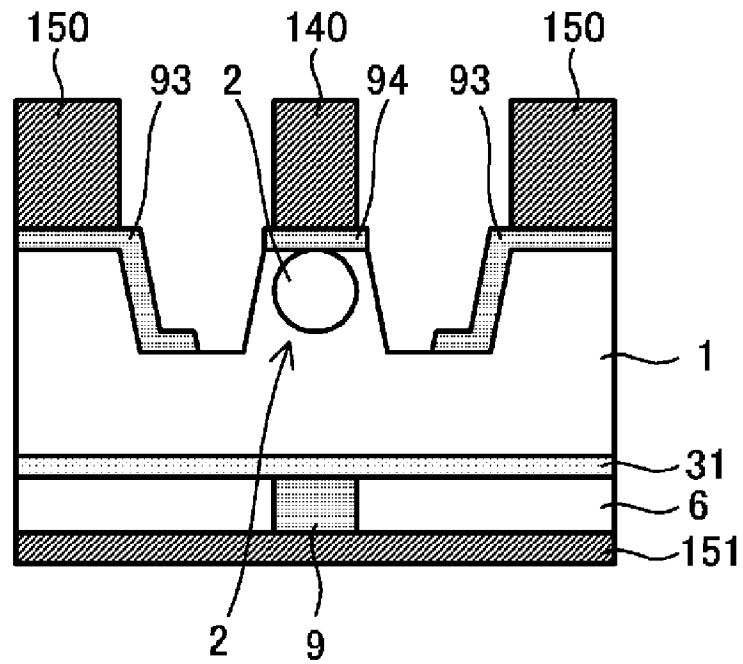
[図14]



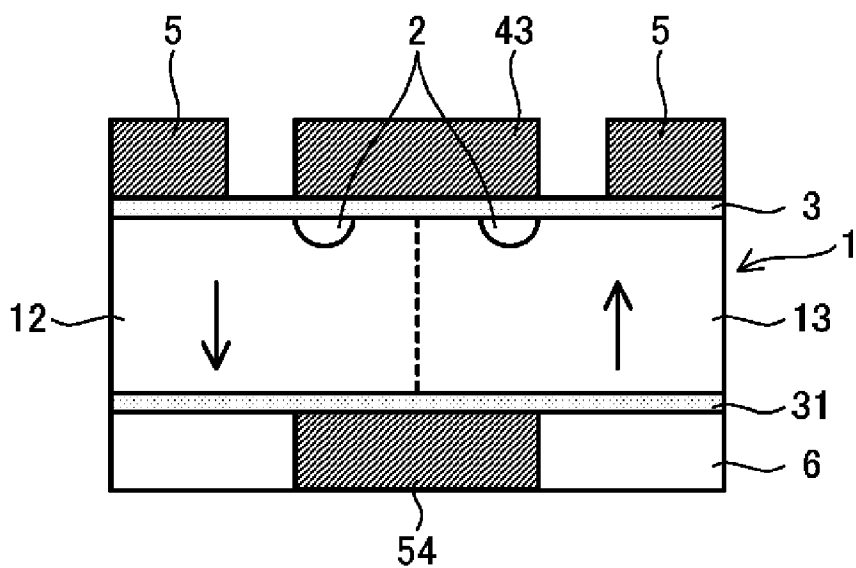
[図15]



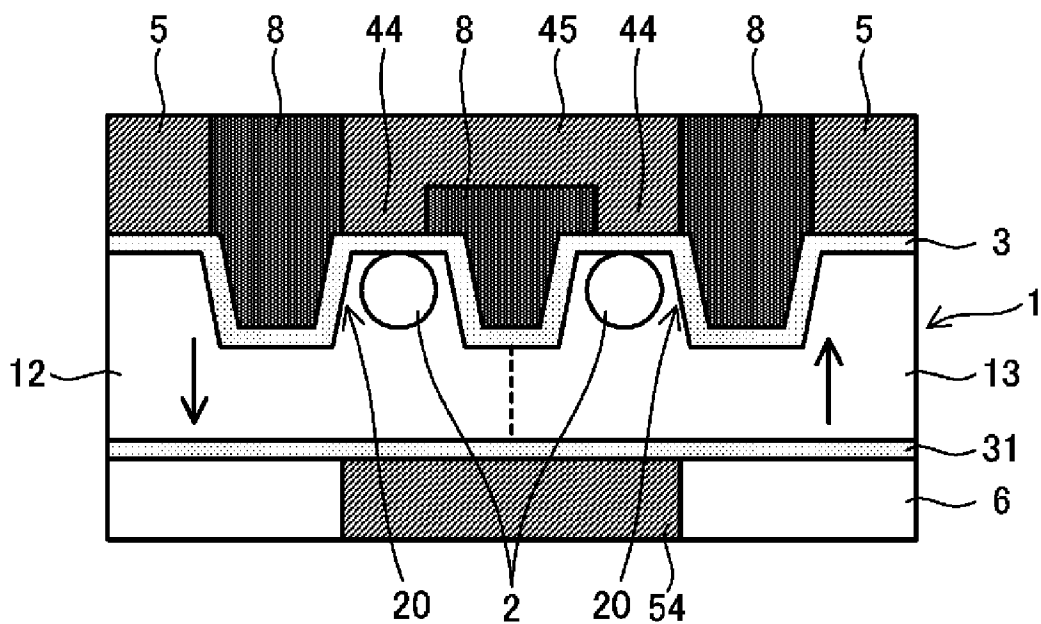
[図16]



[図17]



[図18]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2008/056086

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
G02F1/035 (2006.01) i

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)  
G02F1/00-1/065, 1/29-2/02

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6-75256 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 18 March, 1994 (18.03.94), Claims 1, 2; Par. Nos. [0013], [0015] to [0018]; Fig. 3 (Family: none)	1, 2
A	WO 2005/069071 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 28 July, 2005 (28.07.05), Claim 1; Par. Nos. [0017], [0025] to [0030], [0072] to [0079]; Figs. 2, 15 & WO 2005/069071 A1	1, 2, 6

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 18 April, 2008 (18.04.08)	Date of mailing of the international search report 13 May, 2008 (13.05.08)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/056086

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-243327 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 14 September, 2006 (14.09.06), Par. Nos. [0005], [0011], [0015]; Figs. 4, 5 (Family: none)	1, 2, 5-7
A	US 6580843 B2 (Fujitsu Ltd.), 17 June, 2003 (17.06.03), Column 26, line 12 to column 27, line 49; Figs. 1, 23, 24B & US 2003/0147581 A1 & US 2002/0146190 A1 JP 7-191352 A (Mitsubishi Electric Corp.),	1
A	28 July, 1995 (28.07.95), Par. Nos. [0015] to [0022]; Figs. 1, 2 (Family: none)	9
A	Satoshi OIKAWA et al., "Bunkyoku Hanten o Mochiita Zero Chirp 40GbpsLiNbO3 Hikari Henchoki", IEICE Technical Report, 08 July, 2005 (08.07.05), Vol.105, No.183, pages 19 to 23, Fig. 1(b)	9
A	Satoshi OIKAWA et al., "Bunkyoku Hanten Gijutsu o Mochiita Kotaiiki Zero Chirp Z-cutLiNbO3 Hikari Henchoki", Dai 64 Kai Extended abstracts; the Japan Society of Applied Physics, 30 August, 2003 (30.08.03), Separate Vol.3, page 1072, Fig. 2	9
P,A	WO 2007/114367 A1 (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 11 October, 2007 (11.10.07), Full text (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G02F1/035(2006.01)i

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))  
 Int.Cl. G02F1/00-1/065, 1/29-2/02

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 1971-2008年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2008年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2008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 請求の範囲の番号
A	JP 6-75256 A (日本電信電話株式会社) 1994. 03. 18, 請求項 1, 2, 段落【0013】 , 【0015】 - 【0018】 , 第 3 図 (ファミリーなし)	1, 2
A	WO 2005/069071 A1 (株式会社村田製作所) 2005. 07. 28, 請求の範囲 1, 段落【0017】 , 【0025】 - 【0030】 , 【0072】 - 【0079】 , 第 2, 15 図 & WO 2005/069071 A1	1, 2, 6

C 欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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)</p> <p>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>	<p>の日の後に公表された文献</p> <p>「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&amp;」同一パテントファミリー文献</p>
--	---

国際調査を完了した日 18. 04. 2008	国際調査報告の発送日 13. 05. 2008
----------------------------	----------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官 (権限のある職員) 河原 正	2 X	4 0 8 5
	電話番号 03-3581-1101 内線 3294		

C (続き) . 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 請求の範囲の番号
A	JP 2006-243327 A (松下電器産業株式会社) 2006.09.14, 段落【0005】 , 【0011】 , 【0015】 , 第4, 5 図 (ファミリーなし)	1, 2, 5-7
A	US 6580843 B2 (Fujitsu Limited) 2003.06.17, 第26 欄第12 行-第27 欄第49 行, Fig.1, 23, 24B, & US 2003/0147581 A1 & US 2002/0146190 A1	1
A	JP 7-191352 A (三菱電機株式会社) 1995.07.28, 段落【0015】 - 【0022】 , 第1, 2 図 (ファミリーなし)	9
A	及川哲, 他, "分極反転を用いたゼロチャープ 40GbpsLiNbO3 光変調器", 電子情報通信学会技術研究報告, 2005.07.08, Vol.105, No.183, p.19-23, 第1(b)図	9
A	及川哲, 他, "分極反転技術を用いた広帯域ゼロチャープ Z-cutLiNbO3 光変調器", 第64 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2003.08.30, 第3分冊, p.1072, 第2 図	9
P, A	WO 2007/114367 A1 (住友大阪セメント株式会社) 2007.10.11, 全文 (ファミリーなし)	1-9