

(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  
2017年8月31日(31.08.2017)



(10) 国際公開番号  
**WO 2017/145998 A1**

- (51) 国際特許分類:  
**G02F 1/03** (2006.01) **G02F 1/035** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/006195
- (22) 国際出願日: 2017年2月20日(20.02.2017)
- (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 2016-034796 2016年2月25日(25.02.2016) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人大阪大学(OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 村田 博司(MURATA, Hiroshi); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 新居 広守(NII, Hiromori); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目3番10号タナカ・イトーピア新大阪ビル6階新居国際特許事務所内 Osaka (JP).

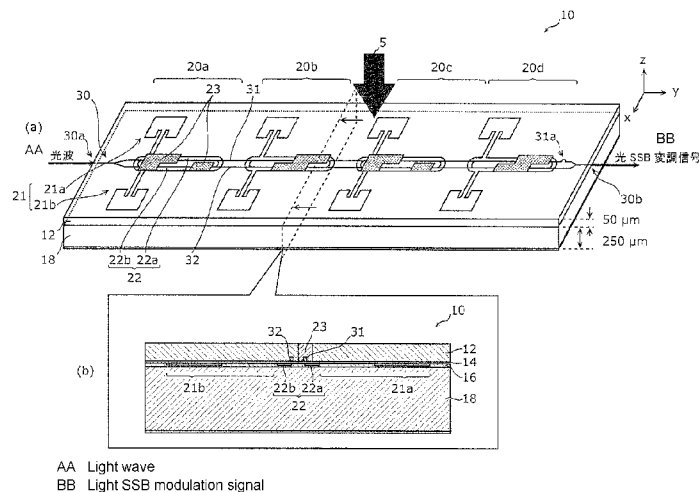
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: LIGHT SSB MODULATOR

(54) 発明の名称: 光SSB変調器



(57) Abstract: A light SSB modulator (10) is provided with: an electro-optical crystal substrate (12) comprising a dielectric material; a Mach-Zehnder optical waveguide (30) that is formed on the electro-optical crystal substrate (12) and has a first optical waveguide (31) and a second optical waveguide (32); an antenna (21) that receives a wireless signal (5); and a first resonance-type electrode (22a) and a second resonance-type electrode (22b) that are connected to the antenna (21) and are arranged along the first optical waveguide (31) and the second optical waveguide (32) respectively. In the electro-optical crystal substrate (12), a polarization inversion structure (23) is formed such that a light wave traveling through the first optical waveguide (31) is cosine-modulated, and a light wave traveling through the second optical waveguide (32) is sine-modulated, the optical path of the first optical waveguide (31) being longer than the length of the optical path of the second optical waveguide (32) by a length corresponding to a phase difference of  $\pi/2$ .

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/145998 A1



光SSB変調器(10)は、誘電性材料からなる電気光学結晶基板(12)と、電気光学結晶基板(12)に形成され第1光導波路(31)及び第2光導波路(32)を有するマッハツェンダー型光導波路(30)と、無線信号(5)を受信するアンテナ(21)と、アンテナ(21)に接続され第1光導波路(31)及び第2光導波路(32)のそれぞれに沿って設けられた第1共振型電極(22a)及び第2共振型電極(22b)とを備え、電気光学結晶基板(12)には、第1光導波路(31)を進行する光波に対してcos変調を与え、かつ、第2光導波路(32)を進行する光波に対してsin変調を与えるように分極反転構造(23)が形成され、第1光導波路(31)の光路が、第2光導波路(32)の光路よりも、 $\pi/2$ の位相差に相当する長さだけ長い。

## 明 細 書

発明の名称：光SSB変調器

### 技術分野

[0001] 本発明は、光波を無線信号で変調することによりSSB (Single Side Band) 変調された光信号を出力する光SSB変調器に関する。

### 背景技術

[0002] ミリ波は、次世代無線の有力候補である。特に、60GHz帯は、各種規格も定められており、Gbps伝送（つまり、大容量通信）が容易である。ミリ波無線では、セルサイズが小さくなるために、無線信号を光信号に変換して光ファイバーで伝送するRadio-over-Fiber (RoF) 方式が有効である。RoFミリ波無線システムを構築するためには、ミリ波無線信号を光信号に変換する光強度変調器が重要である。

[0003] 光強度変調器は、両側波帯 (Double Side Band; DSB) 変調器であるが、光DSB変調器で変調された信号を光ファイバーで伝送すると、光ファイバーの波長分散により強度変調信号が位相変調信号に変換される状況が生じ得る。それゆえ、信号をフォトダイオード等で検波・復調することが困難になる。また、DSB信号には冗長性があり、情報伝送のためには、SSB信号で十分である。光SSB信号では波長分散による問題も生じない。

[0004] そこで、従来、ミリ波帯無線信号から光SSB変調信号を生成する光SSB変調器が提案されている（例えば、特許文献1参照）。特許文献1の技術によれば、マッハツェンダー型光導波路が形成された電気光学結晶基板に分極反転構造を設けることで、低電力で駆動可能であり、小型の構成であっても、10GHz以上の高周波域で高効率に動作する光SSB変調器が実現される。

### 先行技術文献

## 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-333753号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1の技術では、低電力ではあるものの、駆動のために最低限の電力が必要とされ、電源を必要とするという問題がある。さらに、特許文献1の技術では、光SSB変調信号が出力されるものの、その光SSB変調信号には不要な側波帯が残留している（つまり、不要な側波帯の抑圧度が十分ではない）という問題もある。

[0007] そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、電源を必要とすることなく、かつ、不要な側波帯が従来よりも抑圧された光SSB変調信号を生成する光SSB変調器を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するために、本発明の一形態に係る光SSB変調器は、光波を無線信号で変調することによりSSB (Single Side Band) 変調された光信号を出力する光SSB変調器であって、誘電性材料からなる電気光学結晶基板と、前記電気光学結晶基板に形成され、第1光導波路及び第2光導波路を有するマッハツェンダー型光導波路と、前記無線信号を受信するアンテナと、前記アンテナに接続され、前記第1光導波路及び前記第2光導波路のそれぞれに沿って設けられた第1共振型電極及び第2共振型電極とを備え、前記電気光学結晶基板には、前記第1光導波路を進行する光波に対してcos変調を与えるように前記第1共振型電極に対向する領域の一部に分極反転構造が形成され、かつ、前記第2光導波路を進行する光波に対してsin変調を与えるように前記第2共振型電極に対向する領域の一部に分極反転構造が形成され、前記第1光導波路及び前記第2光導波路の一方の光路は、他方の光路よりも、前記光波における $\pi/2$ の位相差に相当する長さだけ長い。

[0009] これにより、第1共振型電極及び第2共振型電極には、アンテナで受信された無線信号が供給されるので、特許文献1の技術で必要とされた、第1共振型電極及び第2共振型電極に無線信号を供給するための変調信号源及び可変直流電圧源等の電源が不要となる。さらに、本発明の光SSB変調器では、第1光導波路及び第2光導波路に $\pi/2$ の位相差に相当する光路差（光バイアス）を与えるために、これらの光路長に差を設けているので、光波にバイアス電圧を印加する方法と異なり、電源を必要としない。よって、本発明の光SSB変調器は、電源を必要とすることなく、無線信号から光SSB変調信号が生成される。

[0010] さらに、本発明の光SSB変調器によれば、アンテナによって受信された無線信号が第1共振型電極及び第2共振型電極に供給される。より具体的には、前記第1光導波路及び前記第2光導波路は、互いに並行して延在するように前記電気光学結晶基板上に形成され、前記第1共振型電極及び前記第2共振型電極は、それぞれ前記第1光導波路及び前記第2光導波路に沿って、互いに並行して延在するように前記電気光学結晶基板上に設けられ、前記アンテナは、前記電気光学結晶基板上に設けられ、前記第1共振型電極に直交するように接続される第1アンテナ素子、及び、前記第2共振型電極に直交するように接続される第2アンテナ素子を有し、前記第1アンテナ素子と前記第2アンテナ素子とは、前記電気光学結晶基板上において、前記第1共振型電極及び前記第2共振型電極に対して、対称の位置に設けられてもよい。

[0011] これにより、第1共振型電極及び第2共振型電極の一方だけに対して変調信号を供給する特許文献1の技術と異なり、第1共振型電極及び第2共振型電極の両方に対して変調信号が供給されて第1共振型電極及び第2共振型電極において強くて歪の少ない変調電界が発生するので、第1光導波路及び第2光導波路を進行する光波に対して歪の少ない $\cos$ 変調及び $\sin$ 変調が施され、特許文献1の技術よりも不要な側波帯が抑圧された光SSB変調信号が生成される。

[0012] また、前記第1アンテナ素子が前記第1共振型電極と接続される接続点は

、前記第 1 共振型電極における、前記第 1 アンテナ素子と前記第 1 共振型電極とがインピーダンス整合する複数の接続点のうち、前記第 1 共振型電極の端部に最も近い接続点であり、前記第 2 アンテナ素子が前記第 2 共振型電極と接続される接続点は、前記第 2 共振型電極における、前記第 2 アンテナ素子と前記第 2 共振型電極とがインピーダンス整合する複数の接続点のうち、前記第 2 共振型電極の端部に最も近い接続点であってもよい。

[0013] これにより、第 1 アンテナ素子及び第 2 アンテナ素子はそれぞれ第 1 共振型電極及び第 2 共振型電極とインピーダンス整合する複数の接続点のうち第 1 共振型電極及び第 2 共振型電極の端部に最も近い接続点で接続されて整合されるので、第 1 共振型電極及び第 2 共振型電極で不要な共振が生じることが抑制されるとともに第 1 共振型電極及び第 2 共振型電極で強い変調電界が生じ、出力される光 SSB 変調信号に不要な側波帯が残留してしまうことが抑制される。

[0014] また、前記アンテナ、前記第 1 共振型電極、前記第 2 共振型電極及び前記分極反転構造を一組の変調部とした場合に、前記第 1 光導波路及び前記第 2 光導波路に沿う複数の箇所のそれぞれに、前記変調部が設けられてもよい。より具体的には、前記変調部は、前記光波が進行する方向に沿って並ぶ第 1 変調部、第 2 変調部、第 3 変調部及び第 4 変調部を、この並び順で、含み、前記第 1 変調部及び前記第 3 変調部を構成する前記分極反転構造は、同一の第 1 分極反転構造を有し、前記第 2 変調部及び前記第 4 変調部を構成する前記分極反転構造は、前記第 1 分極反転構造とは異なる、同一の第 2 分極反転構造を有してもよい。

[0015] これにより、第 1 光導波路及び第 2 光導波路を進行する光波は、複数の箇所に設けられた変調部によって変調を受けるので、一つの変調部によって変調を受ける場合に比べ、それぞれ、より歪みの少ない  $\cos$  変調及び  $\sin$  変調を受けて合波され、不要な側波帯がより抑圧された光 SSB 変調信号が生成される。また、複数の変調部において同一の方向から入射する無線信号に対して最も強い光 SSB 変調信号が生成されるので、無線信号の入射方向

についての指向性が強くなる。

### 発明の効果

[0016] 本発明により、電源を必要とすることなく、かつ、不要な側波帯が従来よりも抑圧された光SSB変調信号を生成する光SSB変調器が提供される。

[0017] よって、本発明に係る光SSB変調器は、小型で、かつ、無給電で動作する無線—光信号変換デバイスであり、ミリ波帯による次世代無線通信システムの構築が期待される今日において、実用的価値は極めて高い。

### 図面の簡単な説明

[0018] [図1]図1は、実施の形態における光SSB変調器の構成を示す外観図である。

[図2]図2は、実施の形態における光SSB変調器のアンテナ及び共振型電極の大きさ及びレイアウトの一例を示す図である。

[図3]図3は、実施の形態における光SSB変調器の動作原理を説明する図である。

[図4]図4は、実施の形態における光SSB変調器のアンテナ電極の動作を示す図である。

[図5A]図5Aは、時刻 $t = t_0$ において、光SSB変調器の第1変調部の第1共振型電極の中心に位置する光波が第1共振型電極上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。

[図5B]図5Bは、時刻 $t = t_0 + T/4$ において、光SSB変調器の第1変調部の第2共振型電極の中心に位置する光波が第2共振型電極上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。

[図5C]図5Cは、時刻 $t = t_0$ において、光SSB変調器の第2変調部の第1共振型電極の中心に位置する光波が第1共振型電極上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。

[図5D]図5Dは、時刻 $t = t_0 + T/4$ において、光SSB変調器の第2変調部の第2共振型電極の中心に位置する光波が第2共振型電極上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。

[図6]図6は、実施の形態における光SSB変調器のアンテナの共振特性を示す図である。

[図7]図7は、実施の形態における光SSB変調器の共振型電極の給電位置を変化させたときの給電点での反射係数を説明する図である。

[図8]図8は、実施の形態における光SSB変調器のアンテナ電極の電界についての解析結果を示す図である。

[図9]図9は、実施の形態における光SSB変調器の動作を確認するための実験装置の構成を示すブロック図である。

[図10]図10は、図9に示される実験装置による実験結果を示す図である。

[図11]図11は、図10におけるUSBを復調して得られた無線信号の周波数依存性（実験結果）を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも本発明の一具体例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、工程、工程の順序等は、一例であり、本発明を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、本発明の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

[0020] 図1は、実施の形態における光SSB変調器10の構成を示す外観図である。ここでは、光SSB変調器10の上方斜めから見た透視的な外観図（図1の（a））と、図1の（a）における破線枠で囲まれた面で切断して得られる断面図（図1の（b））とが図示されている。また、本図には、説明の便宜のために、互いに直交するx軸、y軸及びz軸も示されている。

[0021] 光SSB変調器10は、光波をミリ波等の無線信号5で変調することによりSSB変調された光信号（光SSB変調信号）を出力する電気光学変調器であり、図1の（a）に示されるように、主要な構成要素として、誘電性材料からなる電気光学結晶基板12と、電気光学結晶基板12に形成され第1

光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 を有するマッハツェンダー型光導波路 3 0 と、無線信号 5 を受信するアンテナ 2 1 と、アンテナ 2 1 に接続され第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 のそれぞれに沿って設けられた第 1 共振型電極 2 2 a 及び第 2 共振型電極 2 2 b とを備える。なお、第 1 共振型電極 2 2 a と第 2 共振型電極 2 2 b とを合わせて、共振型電極 2 2 と呼ぶ。

[0022] 電気光学結晶基板 1 2 には、第 1 光導波路 3 1 を進行する光波に対して  $\cos$  変調を与えるように第 1 共振型電極 2 2 a に対向する領域の一部に分極反転構造 2 3 が形成され、かつ、第 2 光導波路 3 2 を進行する光波に対して  $\sin$  変調を与えるように第 2 共振型電極 2 2 b に対向する領域の一部にも分極反転構造 2 3 が形成されている。なお、「分極反転構造」とは、自発分極の向きが周りと異なる（例えば、分極反転構造が施された箇所の自発分極の向きが  $z$  軸の正方向で、周りが  $z$  軸の負方向となる）構造をいう。また、「第 1 光導波路 3 1 を進行する光波に対して  $\cos$  変調を与え、かつ、第 2 光導波路 3 2 を進行する光波に対して  $\sin$  変調を与える」とは、第 1 光導波路 3 1 を進行する光波と第 2 光導波路 3 2 を進行する光波とに対して、位相が  $\pi/2$ （つまり  $T/4$ ）ずれたタイミングで位相変化量が最大となるように変調を施すことをいう。 $T$  は、無線信号 5 の周波数（対象周波数）に対応する周期である。

[0023] また、光 SSB 変調信号を生成するために、第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 には、光波における  $\pi/2$  の位相差（ $1/4$  波長分の長さ）に相当する光路差（光バイアス）が与えられている。つまり、第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 の一方（本実施の形態では、第 1 光導波路 3 1）の光路が、他方（本実施の形態では、第 2 光導波路 3 2）の光路よりも、光波における  $\pi/2$  の位相差に相当する長さだけ長くなるように、第 1 光導波路 3 1 の一部に湾曲部 3 1 a が形成されている。

[0024] なお、マッハツェンダー型光導波路 3 0 は、図面に向かって左端部（ $y$  軸の負方向の端部）に光波が入力又は出力される第 1 ポート 3 0 a を有し、右端部（ $y$  軸の正方向の端部）に光 SSB 変調信号が出力又は入力される第 2

ポート 30b を有する（本実施の形態では、第 1 ポート 30a を入力ポートとし、第 2 ポート 30b を出力ポートとして使用している）。また、第 1 共振型電極 22a 及び第 2 共振型電極 22b は、定在波共振型電極であり、分極反転構造 23 によって変調位相を制御しやすいように、対象周波数における 2 波長分の長さを有し、互いに両端が短絡されている。

[0025] ここで、第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 は、互いに並行（ここでは、y 軸方向に並行）して延在するように電気光学結晶基板 12 に形成されている。また、第 1 共振型電極 22a 及び第 2 共振型電極 22b は、それぞれ第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 に沿って、互いに並行して（ここでは、y 軸方向に並行して）電気光学結晶基板 12 上（ここでは、下面）に延在するように設けられている。そして、アンテナ 21 は、電気光学結晶基板 12 上（ここでは、下面）に設けられ、平面視において、第 1 共振型電極 22a に直交する（ここでは、y 軸方向に延びる）ように接続される第 1 アンテナ素子 21a、及び、第 2 共振型電極 22b に直交するように接続される第 2 アンテナ素子 21b を有する。第 1 アンテナ素子 21a と第 2 アンテナ素子 21b とは、電気光学結晶基板 12 上（ここでは、下面）において、第 1 共振型電極 22a 及び第 2 共振型電極 22b に対して、対称（線対称）の位置に設けられている。

[0026] より具体的には、第 1 アンテナ素子 21a が第 1 共振型電極 22a と接続される接続点は、第 1 共振型電極 22a における、第 1 アンテナ素子 21a と第 1 共振型電極 22a とがインピーダンス整合する複数の接続点のうち、第 1 共振型電極 22a の端部（ここでは、第 1 ポート 30a に近い端部）に最も近い接続点である。同様に、第 2 アンテナ素子 21b が第 2 共振型電極 22b と接続される接続点は、第 2 共振型電極 22b における、第 2 アンテナ素子 21b と第 2 共振型電極 22b とがインピーダンス整合する複数の接続点のうち、第 2 共振型電極 22b の端部（ここでは、第 1 ポート 30a に近い端部）に最も近い接続点である。

[0027] なお、本実施の形態では、アンテナ 21、第 1 共振型電極 22a、第 2 共

振型電極 22b 及び分極反転構造 23 を一組の変調部とした場合に、第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 に沿う複数の箇所のそれぞれに、4 つの変調部（第 1 変調部 20a、第 2 変調部 20b、第 3 変調部 20c 及び第 4 変調部 20d）が、この並び順で、設けられている。ここで、第 1 変調部 20a 及び第 3 変調部 20c を構成する分極反転構造 23 は、同一の第 1 分極反転構造を有し、一方、第 2 変調部 20b 及び第 4 変調部 20d を構成する分極反転構造 23 は、第 1 分極反転構造とは異なる、同一の第 2 分極反転構造を有する。

[0028] このような複数の変調部（アレイアンテナ電極と分極反転構造）により、第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 を進行する光波は、複数の箇所に設けられた変調部によって変調を受けるので、一つの変調部によって変調を受ける場合に比べ、それぞれ、より歪みの少ない  $\cos$  変調及び  $\sin$  変調を受けて合波され、不要な側波帯がより抑圧された光 SSB 変調信号が生成される。また、複数の変調部において同一の方向から入射する無線信号 5 に対して最も強い光 SSB 変調信号が生成されるので、無線信号 5 の入射方向についての指向性が強くなる。

[0029] また、光 SSB 変調器 10 は、図 1 の (b) に示されるように、最上層から、電気光学結晶基板 12、バッファ層 14、接着剤 16 及びベース基板 18 で構成される積層構造を有する。

[0030] 電気光学結晶基板 12 は、強誘電性の材料（例えば、 $z-cut$  LiNbO<sub>3</sub> 又は  $z-cut$  LiTaO<sub>3</sub>）からなる厚さ約 50  $\mu m$  の平板状の基板である。電気光学結晶基板 12 の下面に、第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 を有するマッハツェンダー型光導波路 30 が形成されている。また、電気光学結晶基板 12 には、第 1 共振型電極 22a に対向する領域の一部に分極反転構造 23 が形成され、第 2 共振型電極 22b に対向する領域の一部にも分極反転構造 23 が形成されている。

[0031] バッファ層 14 は、電気光学結晶基板 12 の下面を覆う絶縁層であり、例えば、厚さ 0.2  $\mu m$  の SiO<sub>2</sub> からなる薄膜である。バッファ層 14 の下面

には、アンテナ 2 1、第 1 共振型電極 2 2 a 及び第 2 共振型電極 2 2 b が設けられている。第 1 共振型電極 2 2 a 及び第 2 共振型電極 2 2 b は、それぞれ、第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 の直下に設けられる。本実施の形態では、第 1 共振型電極 2 2 a 及び第 2 共振型電極 2 2 b は、それぞれ、断面視における端部の直上に第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 が位置するように、バッファ層 1 4 の下面に設けられている。

[0032] 接着剤 1 6 は、アンテナ 2 1、第 1 共振型電極 2 2 a 及び第 2 共振型電極 2 2 b が設けられたバッファ層 1 4 とベース基板 1 8 とを接着する部材であり、例えば、紫外線硬化型樹脂からなる接着剤である。

[0033] ベース基板 1 8 は、光 S S B 変調器 1 0 の実効誘電率を減少させてアンテナ 2 1 及び共振型電極 2 2 の性能を向上させるため、並びに、アンテナ 2 1、第 1 共振型電極 2 2 a 及び第 2 共振型電極 2 2 b が設けられたバッファ層 1 4 が形成された電気光学結晶基板 1 2 に外力が加わったときに割れてしまうことを防止するために補強する基板であり、例えば、底面にグランドパターンが施された、厚さ約 2 5 0  $\mu\text{m}$  の S i O<sub>2</sub> からなる基板である。

[0034] 以上のように構成された本実施の形態における光 S S B 変調器 1 0 は、次の工程で、製造される。つまり、図 1 の (b) に示される断面図を上下反転した状態で、下層（つまり、電気光学結晶基板 1 2）から上層に向けて、製造していく。

[0035] まず、電気光学結晶基板 1 2 を準備し、電気光学結晶基板 1 2 上の所望の部分にパルス電圧を選択的に印加することにより、分極反転構造 2 3 を形成する。次に、分極反転構造 2 3 を施した電気光学結晶基板 1 2 の表面に、安息香酸プロトン交換法によりマッハツェンダー型光導波路 3 0 を形成する。第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 は、例えば、幅約 4  $\mu\text{m}$ 、深さ約 1 . 5  $\mu\text{m}$  である。

[0036] 次に、電気光学結晶基板 1 2 の表面全域に S i O<sub>2</sub> からなるバッファ層 1 4 を形成し、バッファ層 1 4 の上に、フォトリソグラフィ技術によって、第 1 光導波路 3 1 及び第 2 光導波路 3 2 の直上の位置にそれぞれアルミニウム製

の第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bを作製するとともに、アルミニウム製のアンテナ21を作成する。アンテナ21及び共振型電極22の大きさ及びレイアウト例は、図2に示される通りであり、本実施の形態では、59GHz（ミリ波）の無線信号5を対象周波数として共振する値に設計されている。つまり、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bは、内側間の距離が30 $\mu$ m、外側間の距離が90 $\mu$ mとなるように、間隔において互いに並行して延在する長さが2.460mm（電気長が2波長分）の直線部で構成される。第1アンテナ素子21a及び第2アンテナ素子21bは、長さが546 $\mu$ m（電気長が半波長）の辺で囲まれた正方形の放射板と、幅が50 $\mu$ mの配線パターンとで構成されるパッチアンテナとして形成され、それぞれ、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bの長手方向（y軸方向）の中心から1.10mmずれた位置で第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bに接続される。また、4つの変調部（第1変調部20a、第2変調部20b、第3変調部20c及び第4変調部20d）は、3.50mm間隔で配置される。なお、これらのアンテナ21及び共振型電極22の大きさ及びレイアウト、並びに、4つの変調部の間隔は、下層（バッファ層14、電気光学結晶基板12及びベース基板18）の誘電率等から定まる実効誘電率を考慮し、59GHzの無線信号5に共振する値になっている。共振の詳細は、図5A～図8を用いて後述する。

[0037] 最後に、アンテナ21、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bが形成されたバッファ層の表面に接着剤16を塗布し、そこに、底面にグラウンドパターンが施されたベース基板18を、グラウンドパターンが施されていない面が接着されるように、貼り合わせる。

[0038] このようにして、本実施の形態における光SSB変調器10が製造される。

[0039] 次に、以上のようにして製造された本実施の形態における光SSB変調器10の動作原理及び特徴的な構成について説明する。

[0040] 図3は、本実施の形態における光SSB変調器10の動作原理を説明する

図である。本図には、マッハツェンダー型光導波路 30 を進行する光波のスペクトル 41～44 も併せて図示されている。なお、スペクトル 41～44 を表す軸において、Re が付された軸は実数成分を示し、Im が付された軸は虚数成分を示し、f が付された軸は周波数を示す。

[0041] マッハツェンダー型光導波路 30 の第 1 ポート 30a から入射された光波は、分波されて第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 のそれぞれを進行する。

[0042] 第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 のそれぞれを進行する光波は、第 1 変調部 20a～第 4 変調部 20d において、互いに位相が  $\pi/2$  ずれたタイミングで位相変化量が最大となるように変調を受ける。つまり、第 1 光導波路 31 を進行する光波は、第 1 変調部 20a～第 4 変調部 20d において、上方から入射した無線信号 5 がアンテナ 21 で受信されて第 1 共振型電極 22a で生じた定在波による変調電界及び第 1 共振型電極 22a に対向して設けられた分極反転構造 23 により、cos 変調を受け、スペクトル 41 で示される信号成分をもつ光波となった後、湾曲部 31a で  $\pi/2$  の位相分だけ遅延され、その結果、スペクトル 42 で示される信号成分をもつ光波となる。一方、第 2 光導波路 32 を進行する光波は、第 1 変調部 20a～第 4 変調部 20d において、上方から入射した無線信号 5 がアンテナ 21 で受信されて第 2 共振型電極 22b で生じた定在波による変調電界及び第 2 共振型電極 22b に対向して設けられた分極反転構造 23 により、sin 変調を受け、スペクトル 43 で示される信号成分をもつ光波となる。

[0043] その後、第 1 光導波路 31 を進行してきた、スペクトル 42 で示される信号成分をもつ光波と、第 2 光導波路 32 を進行してきた、スペクトル 43 で示される信号成分をもつ光波とは、第 1 光導波路 31 及び第 2 光導波路 32 の合流箇所合成され、その結果、片側の側波帯がキャンセルされ、スペクトル 44 で示される信号成分をもつ光 SSB 変調信号となって、第 2 ポート 30b から出力される。

[0044] 図 4 は、本実施の形態における光 SSB 変調器 10 の第 1 変調部 20a～

第4変調部20dのそれぞれを構成するアンテナ電極（アンテナ21と共振型電極22とを合わせたもの）の動作を示す図である。ここでは、4つの変調部（第1変調部20a～第4変調部20d）のうちの一つの変調部を構成するアンテナ電極の動作が示されている。また、無線信号5は、上方から（Z軸の負方向に進行して）光SSB変調器10に入射している。

[0045] この場合、第1アンテナ素子21a及び第2アンテナ素子21bには、図4において、横軸をx軸、縦軸を電圧（V）とするグラフに示されるように、同相の電圧が誘起され、その結果、第1アンテナ素子21aから第2アンテナ素子21bに向かう矢印で示されるように、同一方向（x軸方向）に電流が流れる。これにより、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bに対して、奇対称に給電が行われ、奇モードで選択的に励起される。

[0046] 図5A～図5Dは、本実施の形態における光SSB変調器10の変調部（第1変調部20a～第4変調部20d）を構成する分極反転構造23によるcos変調及びsin変調の原理を説明するための図である。

[0047] 図5Aは、時刻 $t = t_0$ において、第1変調部20aの第1共振型電極22aの中心（y軸方向の中心）に位置する光波が第1共振型電極22a上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。図5Aの（a）は、電気光学結晶基板12に分極反転構造23が設けられていない場合に、時刻 $t = t_0$ において第1変調部20aの第1共振型電極22aの中心に位置する光波が見る変調電界の分布を示す。本実施の形態では、図5Aの（b）に示されるように、第1変調部20aの第1共振型電極22a上に立つ2波長分の定在波のうちの先の一波長分（y軸上の負の領域）に対向する電気光学結晶基板12中の領域に分極反転構造23が設けられている。よって、第1共振型電極22a上に立つ2波長分の定在波のうちの先の一波長分の位相が反転され、時刻 $t = t_0$ において第1変調部20aの第1共振型電極22aの中心に位置する光波が見る変調電界は、図5Aの（c）に示されるように、変調の極性が揃った分布となる。これによって、第1光導波路31を進行する光波が進行する際に逆の符号をもつ変調電界中を進

行することによって累積的な変調成分がキャンセルされてしまう走行時間効果が補償され、第1光導波路31を進行する光波は、累積的な変調作用を受ける。

[0048] 図5Bは、時刻  $t = t_0 + T/4$  において、第1変調部20aの第2共振型電極22bの中心（y軸方向の中心）に位置する光波が第2共振型電極22b上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。図5Bの（a）は、電気光学結晶基板12に分極反転構造23が設けられていない場合に、時刻  $t = t_0 + T/4$  において第1変調部20aの第2共振型電極22bの中心に位置する光波が見る変調電界の分布を示す。本実施の形態では、図5Bの（b）に示されるように、第1変調部20aの第2共振型電極22b上に立つ2波長分の定在波のうちの最初の1/4波長及び最後の1/4波長に対向する電気光学結晶基板12中の領域に分極反転構造23が設けられている。よって、第2共振型電極22b上に立つ2波長分の定在波のうちの最初の1/4波長及び最後の1/4波長の位相が反転され、時刻  $t_0 + T/4$  において第1変調部20aの第2共振型電極22bの中心に位置する光波が見る変調電界は、図5Bの（c）に示されるように、変調の極性が揃った分布となる。これによって、第2光導波路32を進行する光波は、走行時間効果が補償され、累積的な変調作用を受ける。

[0049] 図5Cは、時刻  $t = t_0$  において、第2変調部20bの第1共振型電極22aの中心（y軸方向の中心）に位置する光波が第1共振型電極22a上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。図5Cの（a）は、電気光学結晶基板12に分極反転構造23が設けられていない場合に、時刻  $t = t_0$  において第2変調部20bの第1共振型電極22aの中心に位置する光波が見る変調電界の分布を示す。本実施の形態では、図5Cの（b）に示されるように、第2変調部20bの第1共振型電極22a上に立つ2波長分の定在波のうちの後の一波長分（y軸上の正の領域）に対向する電気光学結晶基板12中の領域に分極反転構造23が設けられている。よって、第1共振型電極22a上に立つ2波長分の定在波のうちの後

の一波長分の位相が反転され、時刻  $t = t_0$  において第2変調部20bの第1共振型電極22aの中心に位置する光波が見る変調電界は、図5Cの(c)に示されるように、変調の極性が揃った分布となる。これによって、第1光導波路31を進行する光波は、走行時間効果が補償され、累積的な変調作用を受ける。

[0050] 図5Dは、時刻  $t = t_0 + T/4$  において、第2変調部20bの第2共振型電極22bの中心(y軸方向の中心)に位置する光波が第2共振型電極22b上に立つ2波長分の定在波による変調電界を見る電界分布を説明する図である。図5Dの(a)は、電気光学結晶基板12に分極反転構造23が設けられていない場合に、時刻  $t = t_0 + T/4$  において第2変調部20bの第2共振型電極22bの中心に位置する光波が見る変調電界の分布を示す。本実施の形態では、図5Dの(b)に示されるように、第2変調部20bの第2共振型電極22b上に立つ2波長分の定在波のうちの2つ目の1/4波長及び3つ目の1/4波長に対向する電気光学結晶基板12中の領域に分極反転構造23が設けられている。よって、第2共振型電極22b上に立つ2波長分の定在波のうちの2つ目の1/4波長及び3つ目の1/4波長の位相が反転され、時刻  $t_0 + T/4$  において第2変調部20bの第2共振型電極22bの中心に位置する光波が見る変調電界は、図5Dの(c)に示されるように、変調の極性が揃った分布となる。これによって、第2光導波路32を進行する光波は、走行時間効果が補償され、累積的な変調作用を受ける。

[0051] なお、第3変調部20cの分極反転構造23は、第1変調部20aの分極反転構造23と同じ構造であり、第4変調部20dの分極反転構造23は、第2変調部20bの分極反転構造23と同じ構造である。

[0052] このように、本実施の形態における光SSB変調器10の4つの変調部(第1変調部20a～第4変調部20d)では、1/4周期ずれたタイミングで位相変化量が最大となるように、第1光導波路31及び第2光導波路32に対して分極反転が施されているので、第1光導波路31及び第2光導波路32を進行する光波に対して、それぞれ、cos変調及びsin変調が等価

的に与えられる。

[0053] 図6は、本実施の形態における光SSB変調器10のアンテナ21の共振特性を示す図である。ここでは、電磁界シミュレータ（HFSS（Ansoft Corporationの登録商標））を用いて、上述したサイズのアンテナ21の片側の素子（第1アンテナ素子21a又は第2アンテナ素子21b）を対象とした共振特性（反射係数）を解析した結果が示されている。横軸は周波数であり、縦軸は解析で得られた反射係数 $S_{11}$ である。本図から分かるように、上述したサイズのアンテナ21は、59GHzで共振する。

[0054] 図7は、本実施の形態における光SSB変調器10の共振型電極22の給電位置を変化させたときの給電点での反射係数を説明する図である。図7の（a）は、給電位置を説明する図である。図7の（b）は、上記電磁界シミュレータを用いて、給電位置を変えたときの給電点における反射係数を解析した結果を示す図である。横軸は周波数であり、縦軸は解析で得られた反射係数 $S_{11}$ である。

[0055] 本解析では、図7の（a）に示されるように、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bの給電位置として、長手方向（y軸方向）の中心から左側（y軸の負方向）にずれた距離 $\Delta y$ を変えている。図7の（b）に示されるように、 $\Delta y = 1.10\text{ mm}$ のときに、反射係数 $S_{11}$ が最小となった。この $\Delta y = 1.10\text{ mm}$ で示される給電点は、アンテナ21と共振型電極22とがインピーダンス整合する（本実施の形態では、共振型電極22の入力インピーダンスが $50\Omega$ となる）複数の接続点のうち、共振型電極22の左側の端部（第1ポート30aに近い端部）に最も近い接続点である。なお、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bの給電位置として、長手方向の中心から右側（y軸の正方向）にずれた距離（ $-\Delta y$ ）を変えた場合についても、同様の結果が得られる。つまり、上記複数の接続点のうち、共振型電極22の右側の端部（第2ポート30bに近い端部）に最も近い接続点を給電位置とした場合にも、反射係数 $S_{11}$ が最小となる。

[0056] この解析結果から、第1アンテナ素子21a及び第2アンテナ素子21b

はそれぞれ第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bとインピーダンス整合する複数の接続点のうち第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bの端部に最も近い接続点で接続されて整合されるので、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bで不要な共振が生じることが抑制されるとともに第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bで強い変調電界が生じ、出力される光SSB変調信号に不要な側波帯が残留してしまうことが抑制される。

[0057] 図8は、本実施の形態における光SSB変調器10のアンテナ電極（アンテナ21と共振型電極22とを合わせたもの）の電界についての解析結果を示す図である。横軸は共振型電極22における位置を示し、縦軸は、その位置における共振型電極22での電界の増倍率、つまり、アンテナ21に誘起されたx軸方向における入射電界 $E_0$ に対する共振型電極22で生じた定在波によるz軸方向の電界 $E_z$ の比（ $E_z/E_0$ ）を示している。

[0058] 本図から分かるように、入射電界の約130倍もの極めて強い電界で、かつ、cos波形及びsin波形に近い歪の少ない電界が共振型電極22で生じている。このように、本実施の形態における光SSB変調器10のアンテナ電極の構造により、第1共振型電極及び第2共振型電極の一方だけに対して変調信号を供給する従来技術と異なり、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bの両方に対して変調信号が供給されて第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bにおいて定在波共振が生じ、極めて強く、かつ、歪の少ない変調電界が発生するので、第1光導波路31及び第2光導波路32を進行する光波に対して歪の少ないcos変調及びsin変調が施され、従来技術よりも不要な側波帯が抑圧された光SSB変調信号が生成される。

[0059] 図9は、本実施の形態における光SSB変調器10の動作を確認するための実験装置の構成を示すブロック図である。

[0060] 光SSB変調器10の第1ポート30aには、搬送波として、レーザー素子50から出射された1.5～1.6 $\mu\text{m}$ の波長のレーザーが、レンズ51

で集光された後に、入射される。

[0061] また、光SSB変調器10のアンテナに向けて、変調信号として、発振器60から出力された約60GHzの無線信号が増幅器61で増幅された後に、ホーンアンテナ62を介して、供給される。

[0062] 光SSB変調器10の第2ポート30bから出力される光波（光SSB変調信号）は、レンズ52で集光された後に、光ファイバー53を介して光スペクトラムアナライザ55に入力され、周波数分析される。

[0063] 図10は、図9に示される実験装置による実験結果を示す図である。ここでは、図9における光スペクトラムアナライザ55で得られたスペクトラムの例を示す図である。

[0064] 図10の(a)は、光波（つまり、搬送波）として1534nmの波長のレーザーを用いてLSB（下側側波帯）を抑圧した光SSB変調信号を生成した場合におけるスペクトルが示されている。USB（上側側波帯）については、搬送波のピークよりも49.28dB低い値でピークが観測され、一方、LSB（下側側波帯）については、ほとんど観測されておらず、強く抑圧されていることが分かる。

[0065] 図10の(b)は、光波（つまり、搬送波）として1565.5nmの波長のレーザーが用いてUSB（上側側波帯）を抑圧した光SSB変調信号を生成した場合におけるスペクトルが示されている。LSB（下側側波帯）については、搬送波のピークよりも49.50dB低い値でピークが観測され、一方、USB（上側側波帯）については、ほとんど観測されておらず、強く抑圧されていることが分かる。

[0066] 図11は、図10におけるUSB（上側側波帯）を復調して得られた実験結果としての無線信号の周波数依存性（丸印のプロット）を示す図である。

[0067] 以上の実験結果から分かるように、本実施の形態における光SSB変調器10によれば、無線信号によって光波が変調され、不要な側波帯が抑圧された光SSB変調信号が生成される。

[0068] 以上、本発明の光SSB変調器について、実施の形態に基づいて説明した

が、本発明は、この実施の形態に限定されるものではない。本発明の主旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したものや、実施の形態における一部の構成要素を組み合わせて構築される別の形態も、本発明の範囲内に含まれる。

[0069] 例えば、上記実施の形態では、光SSB変調器10に、4つの変調部（第1変調部20a、第2変調部20b、第3変調部20c及び第4変調部20d）が設けられたが、1つの変調部だけが設けられてもよい。1つの変調部だけが設けられる場合であっても、上述した特徴的な構造を有するアンテナ電極によって、第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bの両方に対して変調信号が供給されて第1共振型電極22a及び第2共振型電極22bにおいて定在波共振が生じ、極めて強く、かつ、歪の少ない変調電界が発生するので、第1光導波路31及び第2光導波路32を進行する光波に対して歪の少ないcos変調及びsin変調が施され、従来技術よりも不要な側波帯が抑圧された光SSB変調信号が生成される。そして、1つの変調部だけが設けられた光SSB変調器は、複数の変調部が設けられた光SSB変調器に比べ、無線信号の入射方向についての指向性が緩和される。

[0070] また、上記実施の形態では、光SSB変調器10のアンテナ21は、パッチアンテナであったが、これに限られず、他のタイプの平面アンテナ、例えば、ダイポールアンテナ等であってもよい。

[0071] また、上記実施の形態では、光SSB変調器10のアンテナ21及び共振型電極22は、59GHzの無線信号5を対象とするサイズ及びレイアウト例が示されたが、本形態における光SSB変調器10は、少なくとも10GHz～60GHzで動作することが確認されている。原理的には、上記実施の形態における光SSB変調器10は、300MHz～300GHzの無線信号を対象とした場合であっても動作し、上記実施の形態と同様の効果を発揮し得る。

[0072] また、上記実施の形態では、第1光導波路31及び第2光導波路32に $\pi/2$ の位相差に相当する光路差（光バイアス）を与えるために、第1光導波

路 3 1 に湾曲部 3 1 a が設けられたが、これに代えて、第 2 光導波路 3 2 に同様の湾曲部が設けられてもよい。

### 産業上の利用可能性

[0073] 本発明に係る光 SSB 変調器は、小型で、かつ、無給電で動作する無線—光信号変換デバイスとして、例えば、ミリ波無線を光信号に変換して伝送する R o F 方式の伝送システムにおける変調器として、利用できる。

### 符号の説明

- [0074]
- 5 無線信号
  - 1 0 光 SSB 変調器
  - 1 2 電気光学結晶基板
  - 1 4 バッファ層
  - 1 6 接着剤
  - 1 8 ベース基板
  - 2 0 a ~ 2 0 d 変調部
  - 2 1 アンテナ
  - 2 1 a 第 1 アンテナ素子
  - 2 1 b 第 2 アンテナ素子
  - 2 2 共振型電極
  - 2 2 a 第 1 共振型電極
  - 2 2 b 第 2 共振型電極
  - 2 3 分極反転構造
  - 3 0 マッハツェンダー型光導波路
  - 3 0 a 第 1 ポート
  - 3 0 b 第 2 ポート
  - 3 1 第 1 光導波路
  - 3 1 a 湾曲部
  - 3 2 第 2 光導波路
  - 5 0 レーザー素子

5 1、5 2 レンズ

5 3 光ファイバー

5 5 光スペクトラムアナライザ

6 0 発振器

6 1 増幅器

6 2 ホーンアンテナ

## 請求の範囲

- [請求項1] 光波を無線信号で変調することによりSSB (Single Side Band) 変調された光信号を出力する光SSB変調器であって、
- 誘電性材料からなる電気光学結晶基板と、
- 前記電気光学結晶基板に形成され、第1光導波路及び第2光導波路を有するマッハツェンダー型光導波路と、
- 前記無線信号を受信するアンテナと、
- 前記アンテナに接続され、前記第1光導波路及び前記第2光導波路のそれぞれに沿って設けられた第1共振型電極及び第2共振型電極とを備え、
- 前記電気光学結晶基板には、前記第1光導波路を進行する光波に対してcos変調を与えるように前記第1共振型電極に対向する領域の一部に分極反転構造が形成され、かつ、前記第2光導波路を進行する光波に対してsin変調を与えるように前記第2共振型電極に対向する領域の一部に分極反転構造が形成され、
- 前記第1光導波路及び前記第2光導波路の一方の光路は、他方の光路よりも、前記光波における $\pi/2$ の位相差に相当する長さだけ長い光SSB変調器。
- [請求項2] 前記第1光導波路及び前記第2光導波路は、互いに並行して延在するように前記電気光学結晶基板上に形成され、
- 前記第1共振型電極及び前記第2共振型電極は、それぞれ前記第1光導波路及び前記第2光導波路に沿って、互いに並行して延在するように前記電気光学結晶基板上に設けられ、
- 前記アンテナは、前記電気光学結晶基板上に設けられ、前記第1共振型電極に直交するように接続される第1アンテナ素子、及び、前記第2共振型電極に直交するように接続される第2アンテナ素子を有し、

前記第 1 アンテナ素子と前記第 2 アンテナ素子とは、前記電気光学結晶基板上において、前記第 1 共振型電極及び前記第 2 共振型電極に対して、対称の位置に設けられている

請求項 1 記載の光 S S B 変調器。

[請求項 3] 前記第 1 アンテナ素子が前記第 1 共振型電極と接続される接続点は、前記第 1 共振型電極における、前記第 1 アンテナ素子と前記第 1 共振型電極とがインピーダンス整合する複数の接続点のうち、前記第 1 共振型電極の端部に最も近い接続点であり、

前記第 2 アンテナ素子が前記第 2 共振型電極と接続される接続点は、前記第 2 共振型電極における、前記第 2 アンテナ素子と前記第 2 共振型電極とがインピーダンス整合する複数の接続点のうち、前記第 2 共振型電極の端部に最も近い接続点である

請求項 2 記載の光 S S B 変調器。

[請求項 4] 前記アンテナ、前記第 1 共振型電極、前記第 2 共振型電極及び前記分極反転構造を一組の変調部とした場合に、前記第 1 光導波路及び前記第 2 光導波路に沿う複数の箇所のそれぞれに、前記変調部が設けられている

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の光 S S B 変調器。

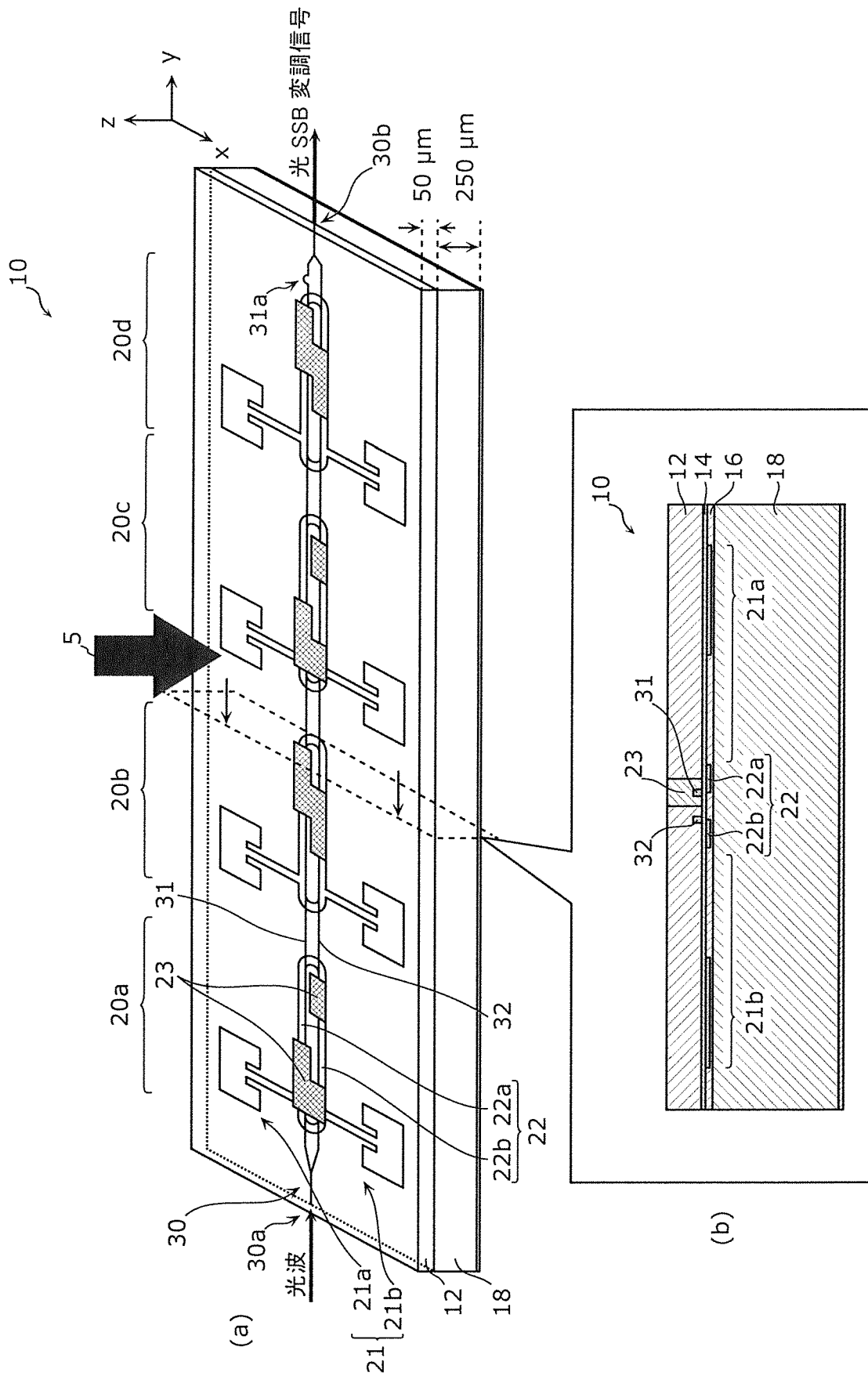
[請求項 5] 前記変調部は、前記光波が進行する方向に沿って並ぶ第 1 変調部、第 2 変調部、第 3 変調部及び第 4 変調部を、この並び順で、含み、

前記第 1 変調部及び前記第 3 変調部を構成する前記分極反転構造は、同一の第 1 分極反転構造を有し、

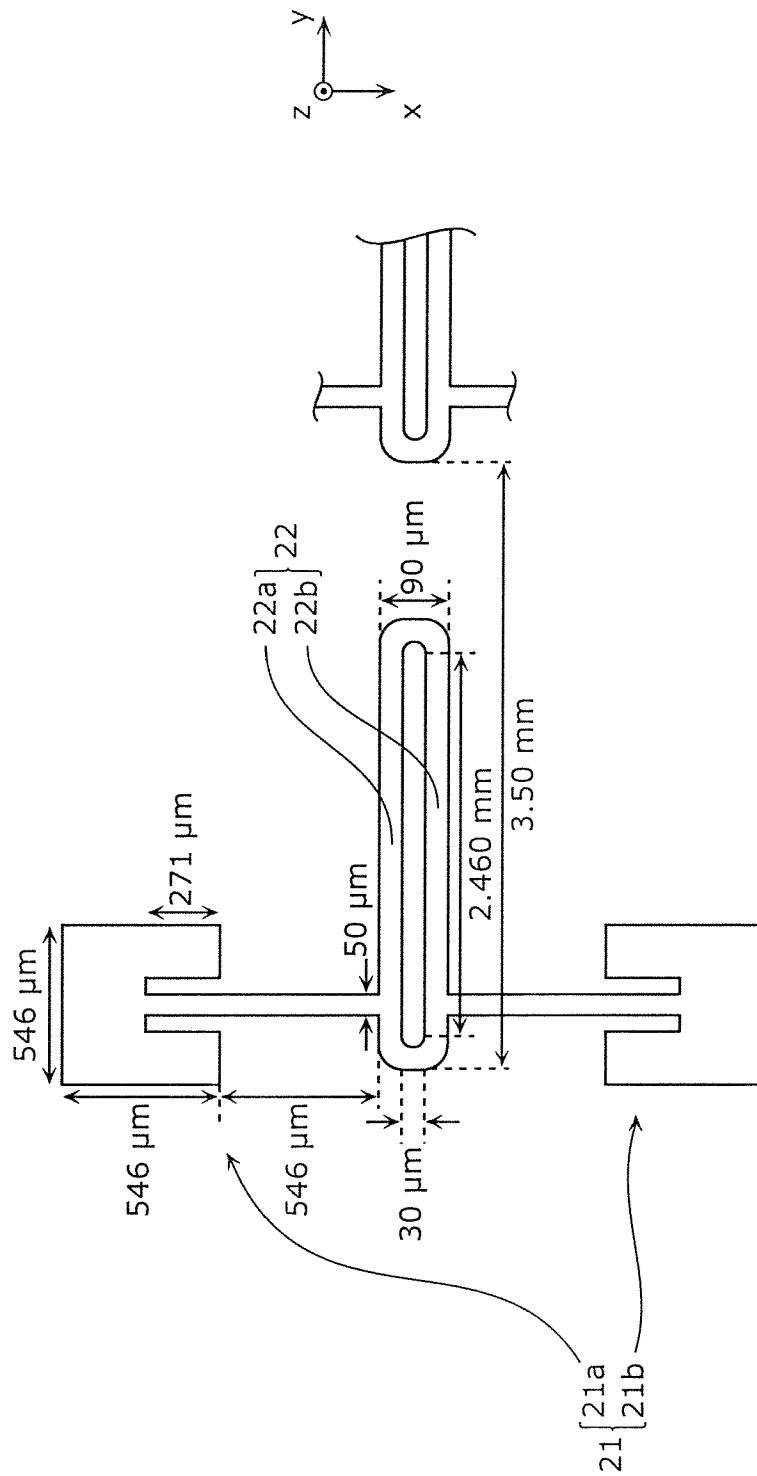
前記第 2 変調部及び前記第 4 変調部を構成する前記分極反転構造は、前記第 1 分極反転構造とは異なる、同一の第 2 分極反転構造を有する

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の光 S S B 変調器。

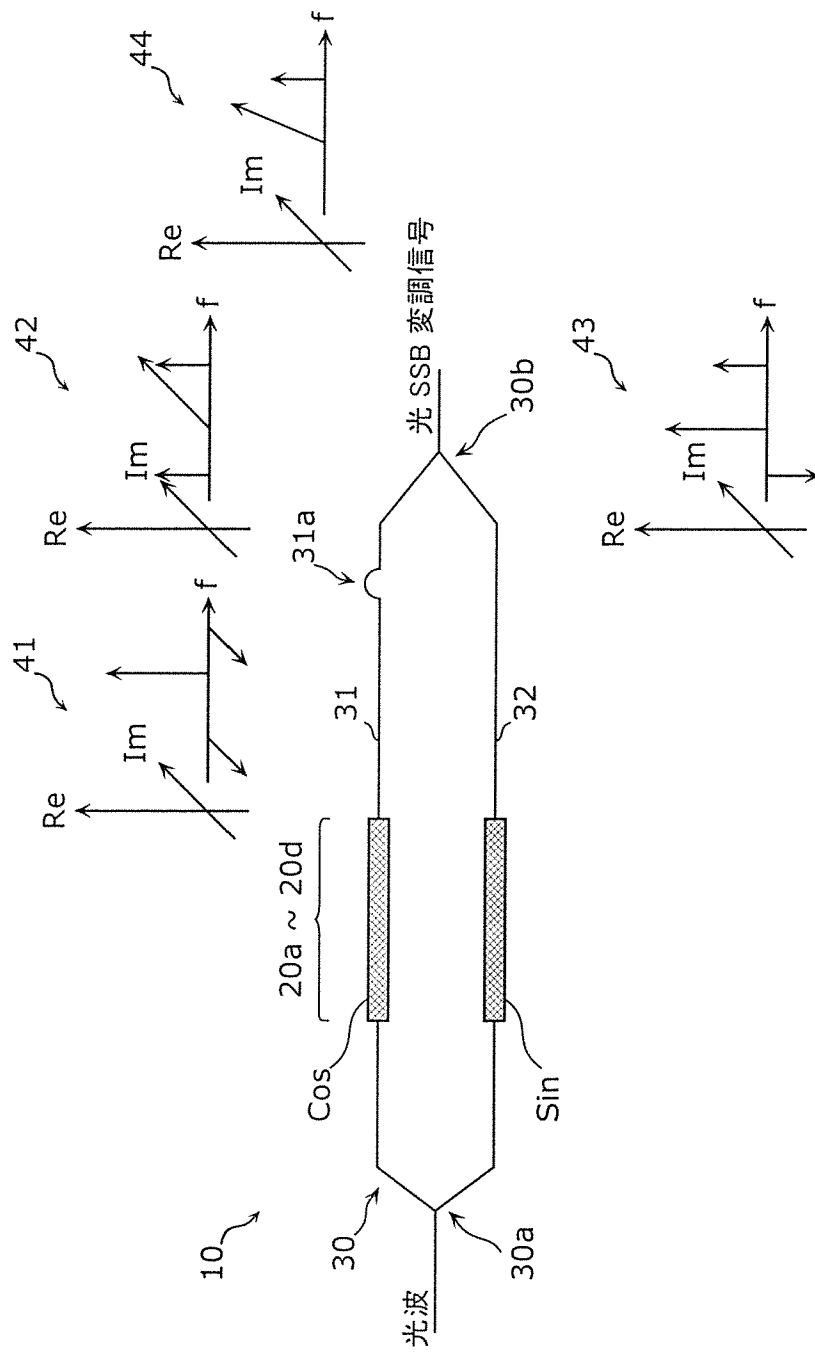
[図1]



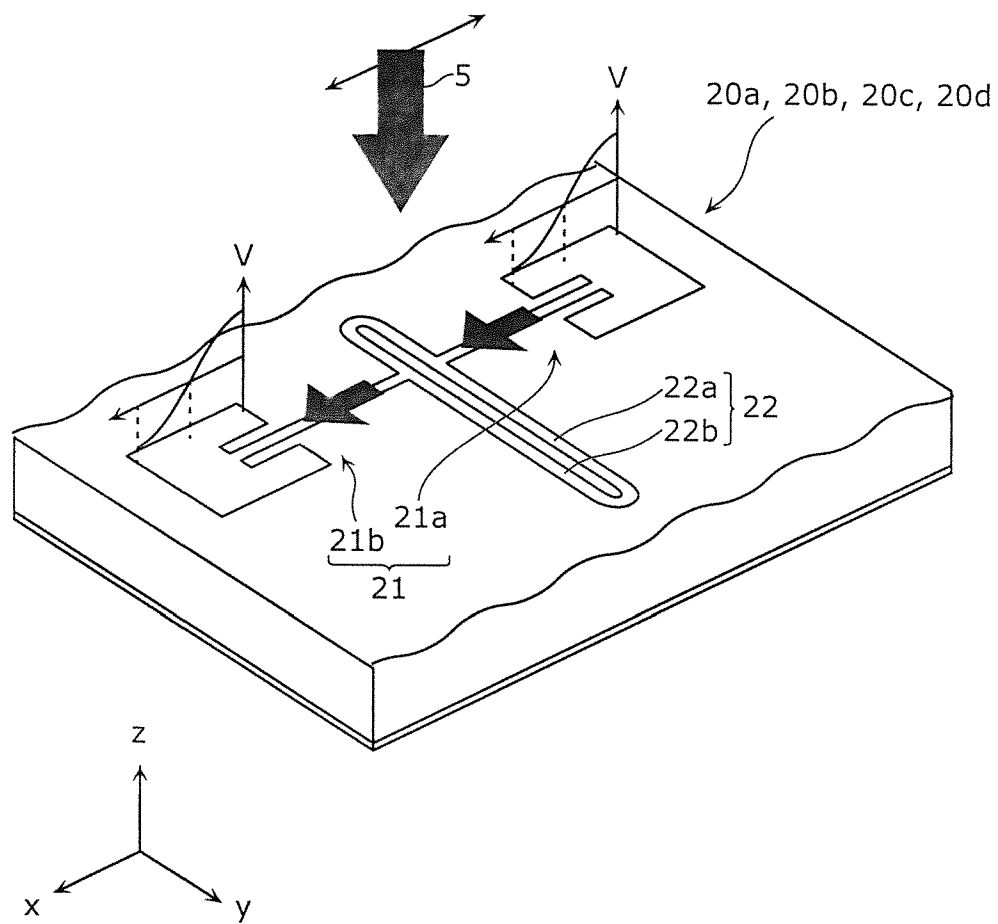
[図2]



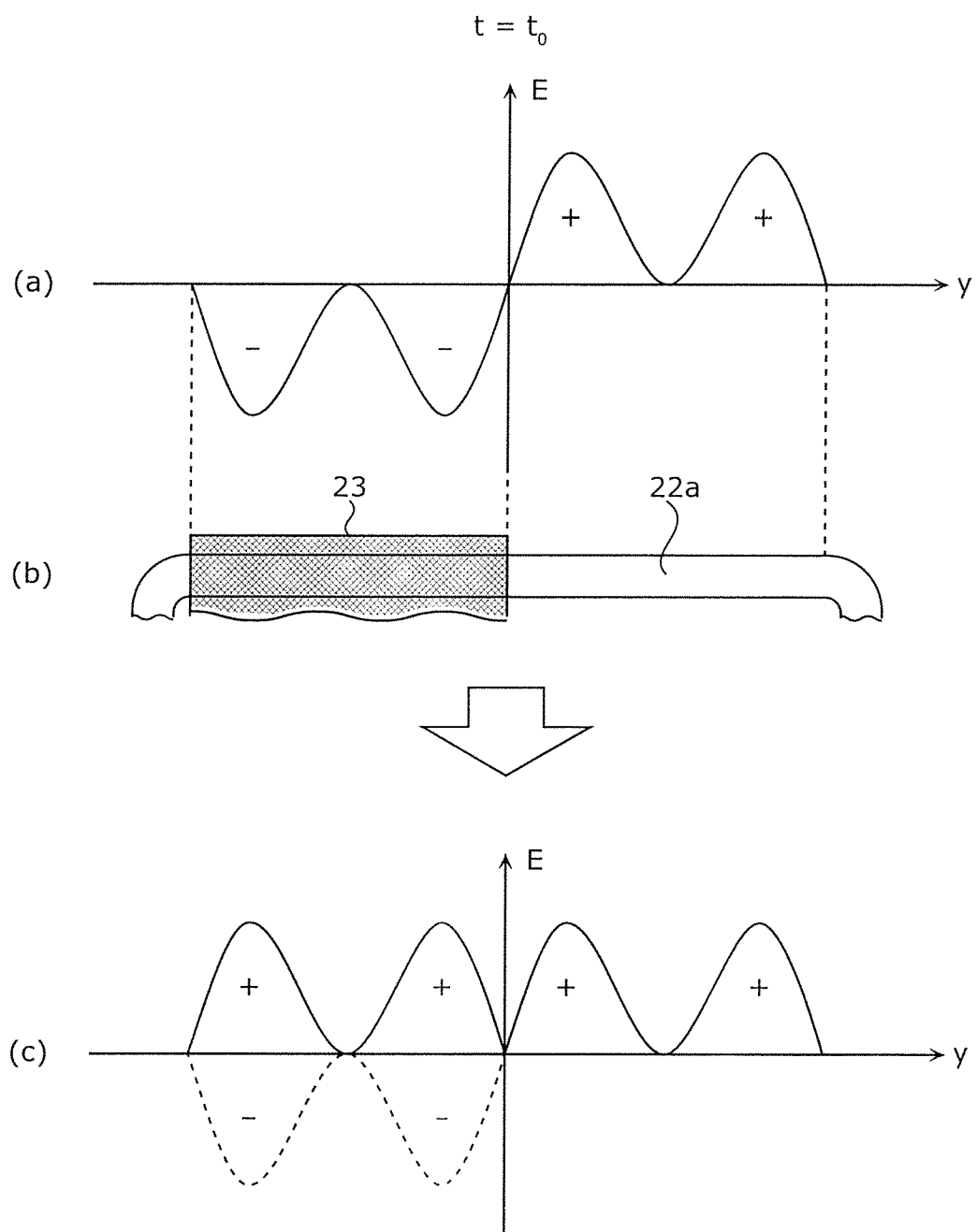
[図3]



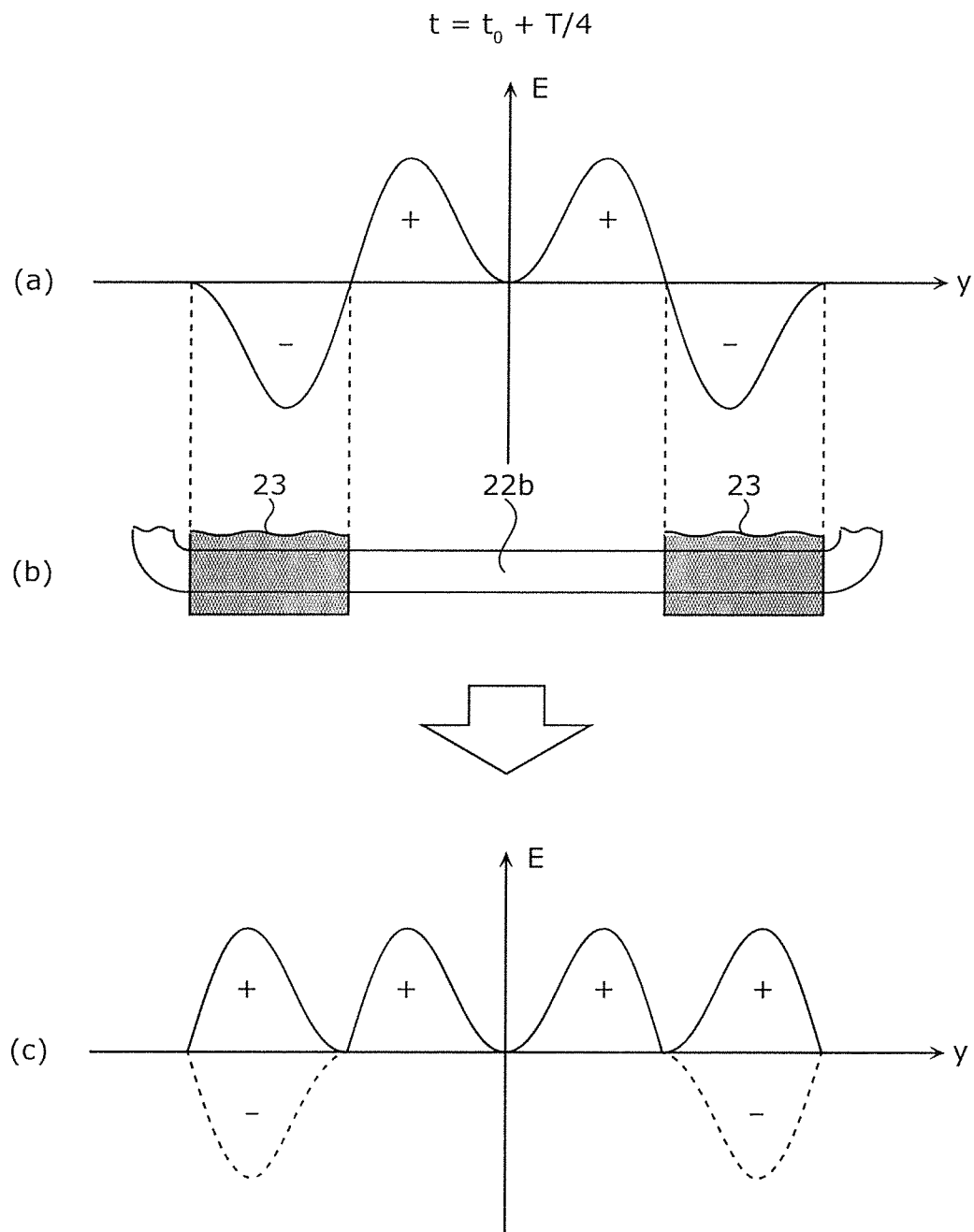
[図4]



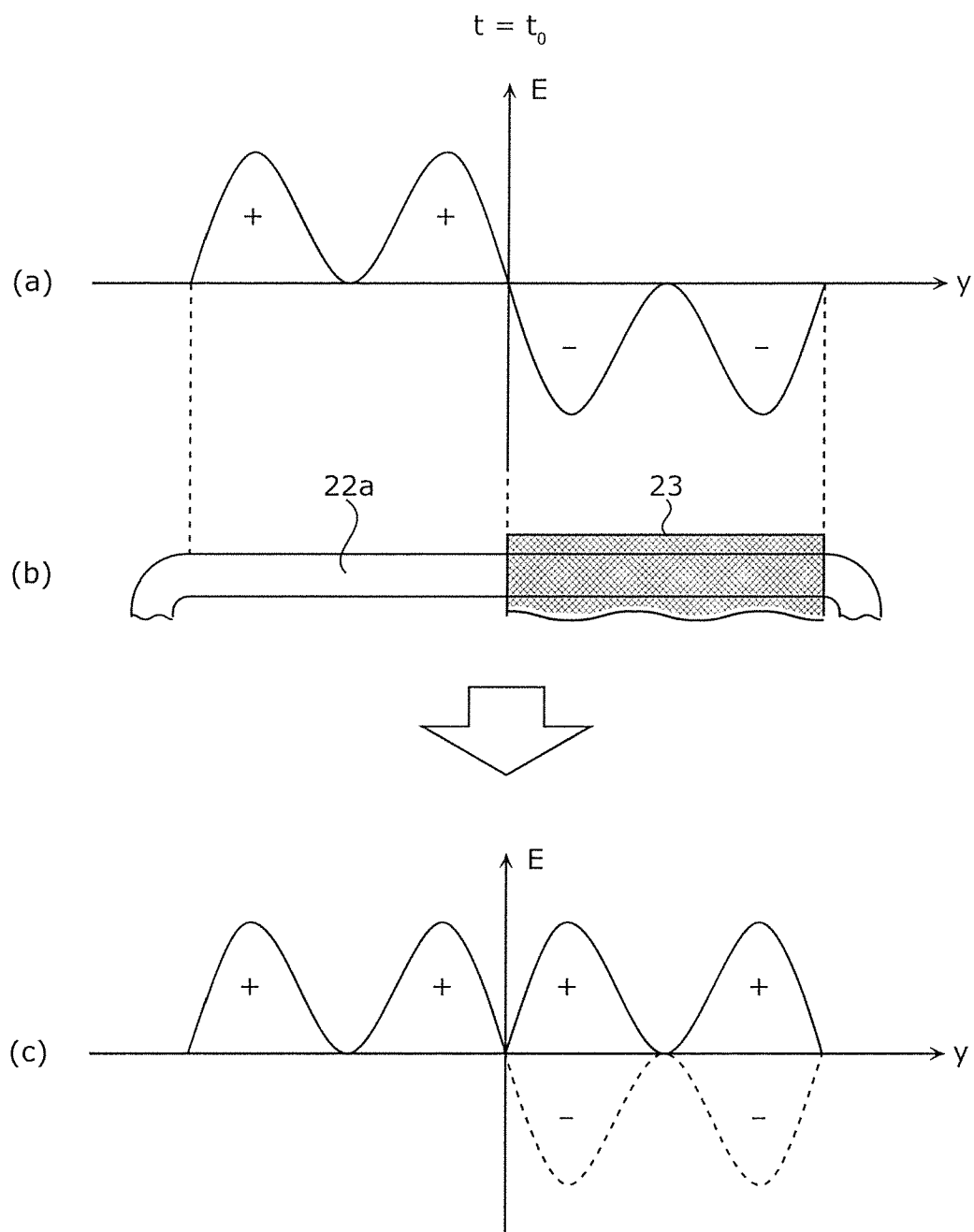
[図5A]



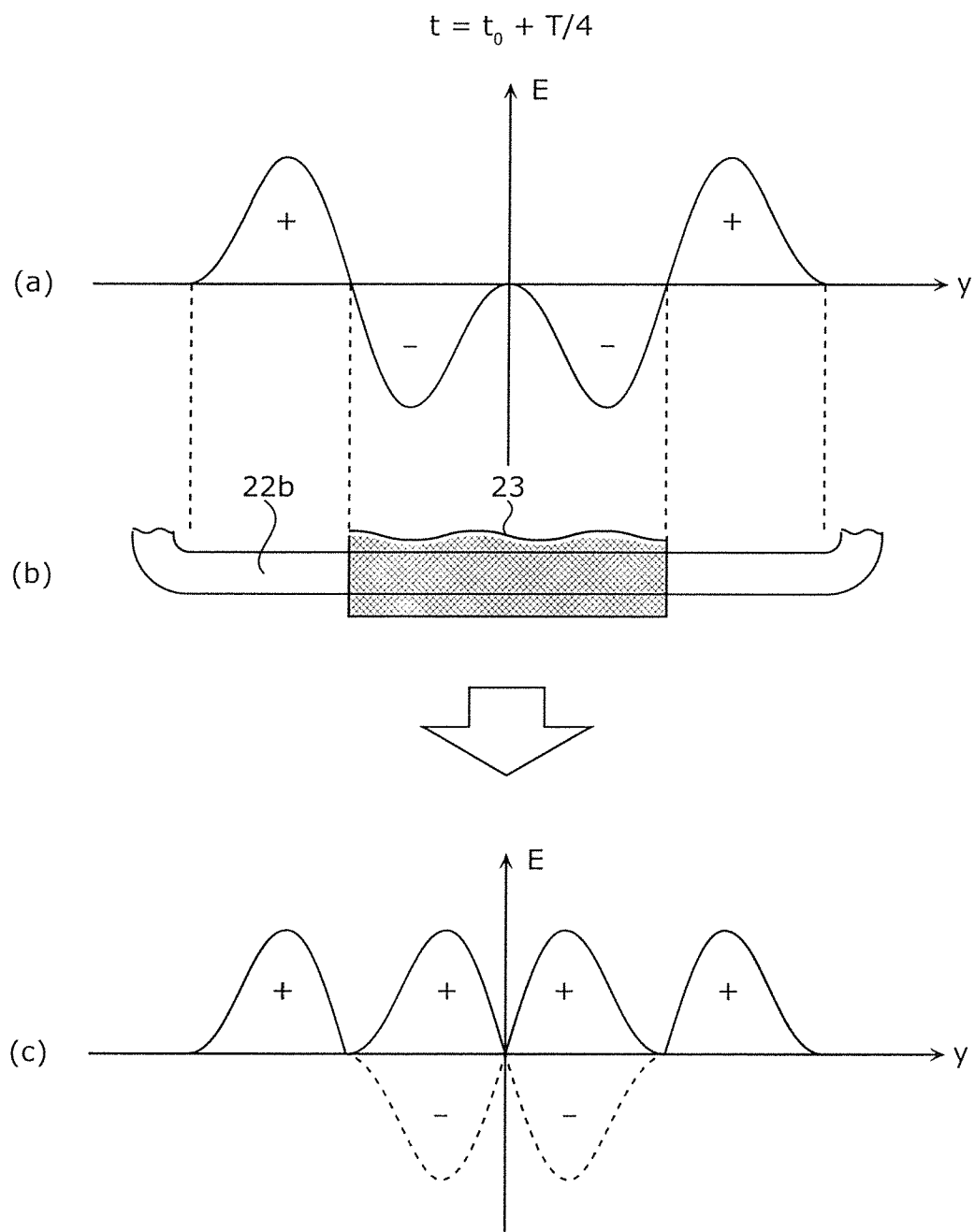
[図5B]



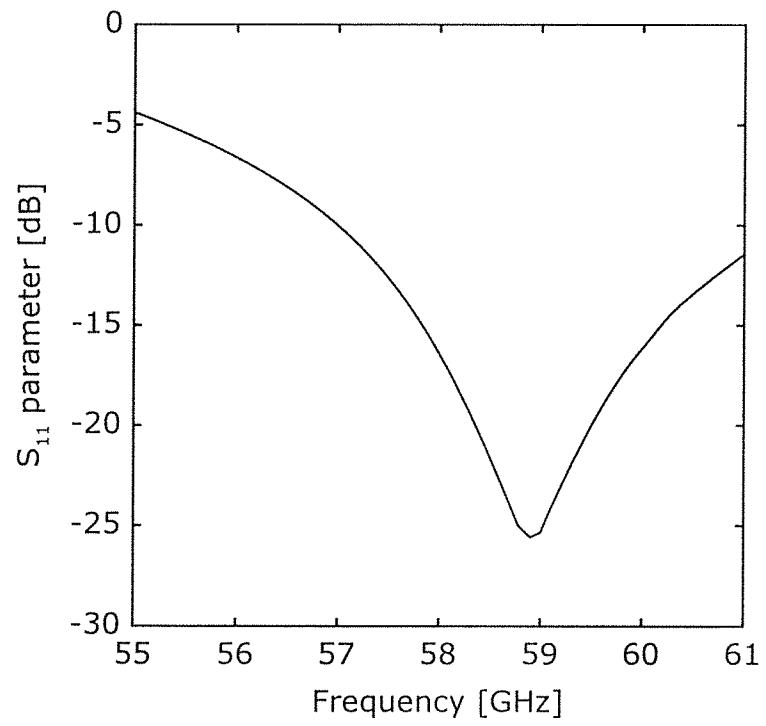
[図5C]



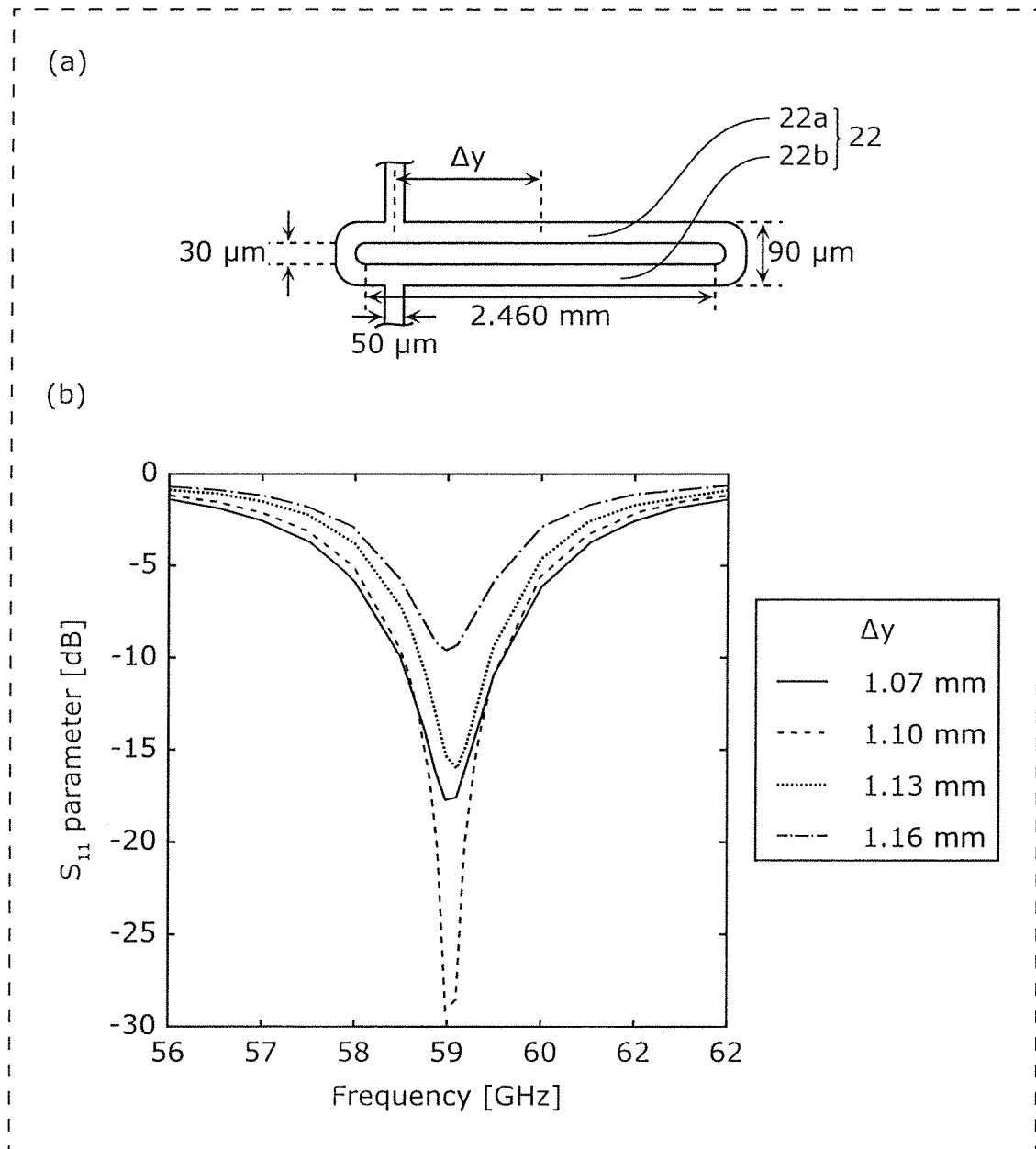
[図5D]



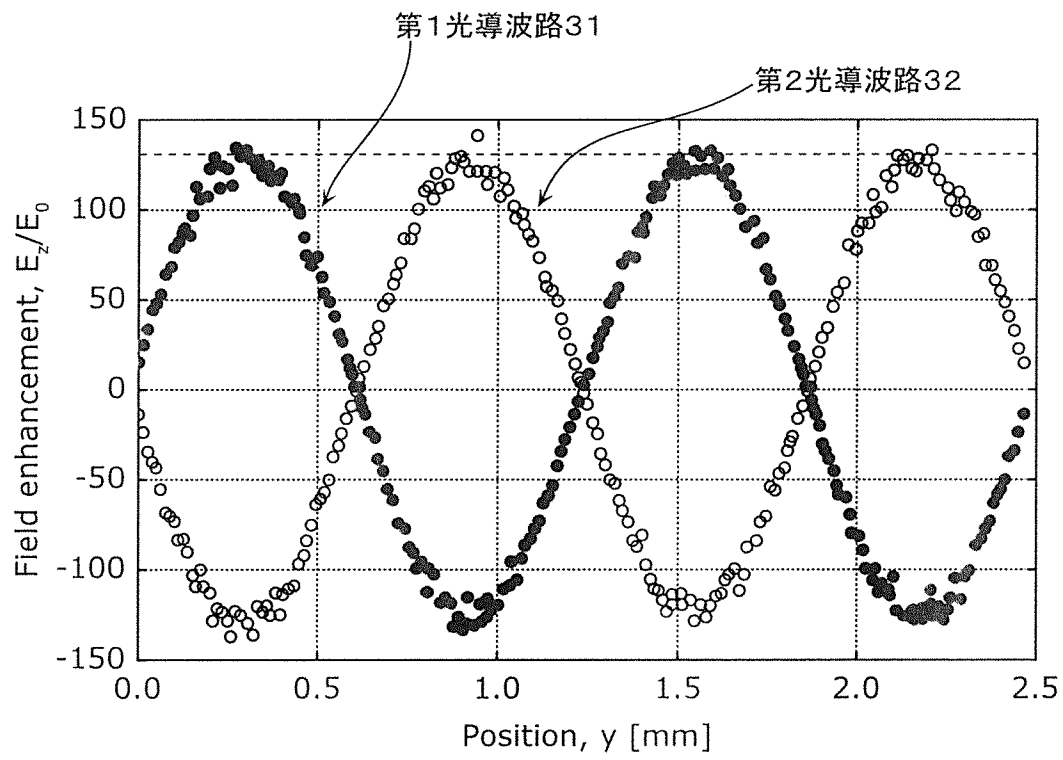
[図6]



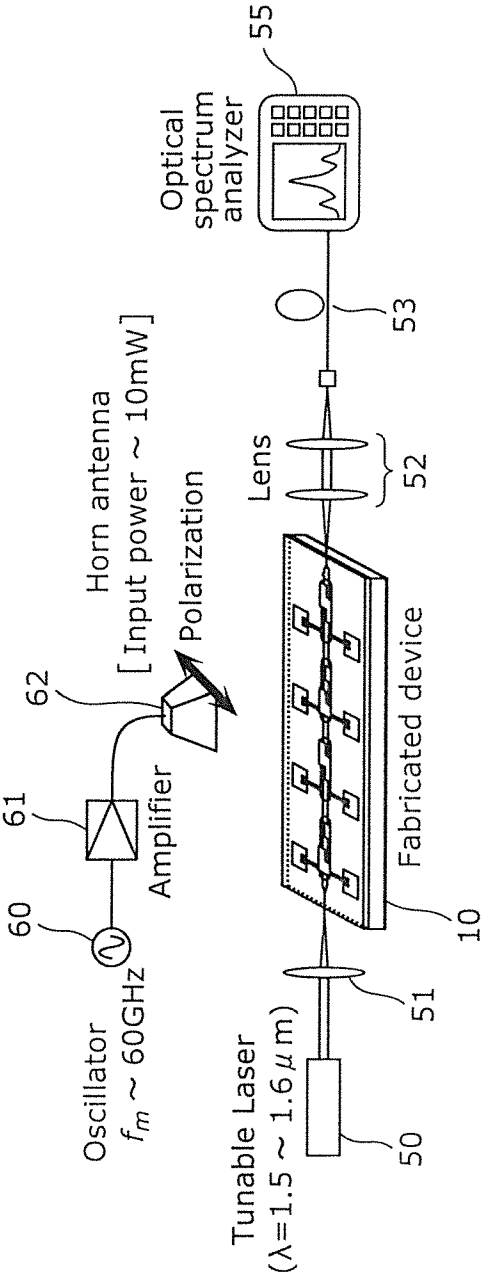
[図7]



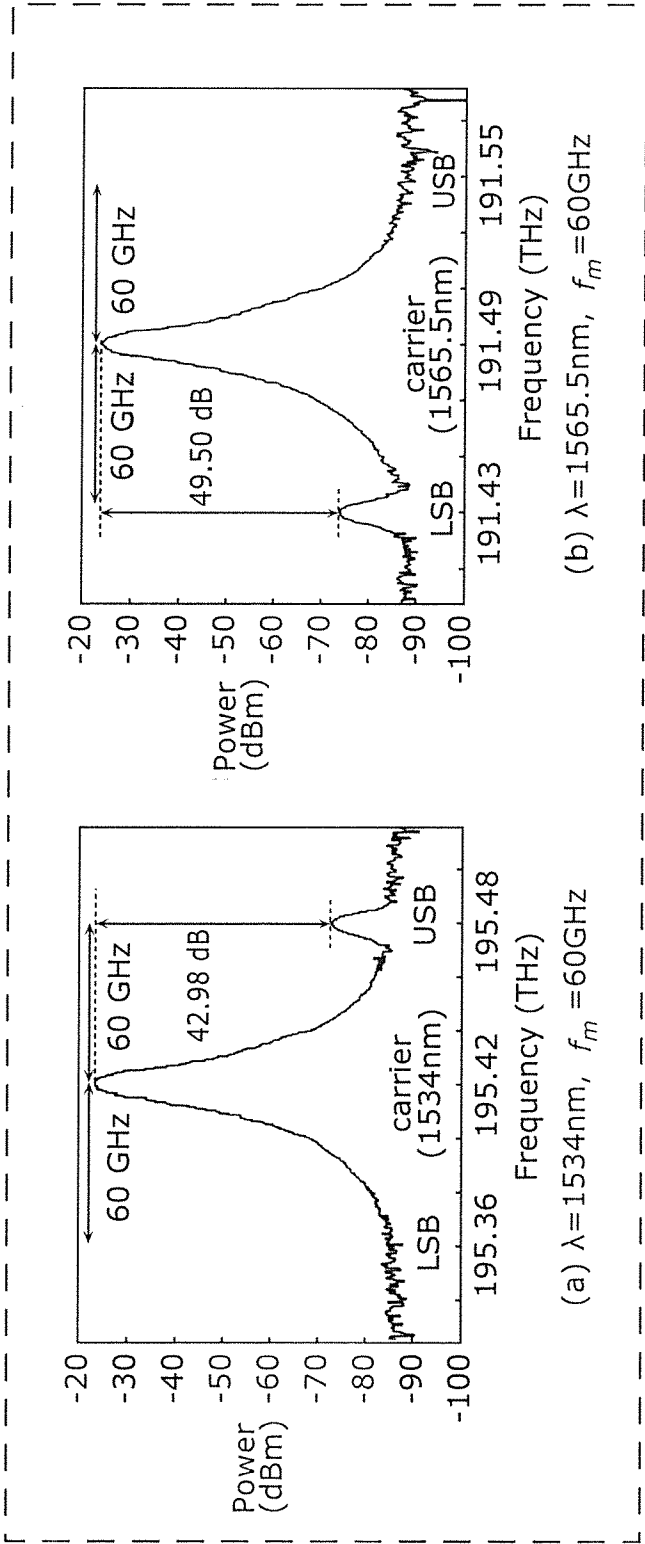
[図8]



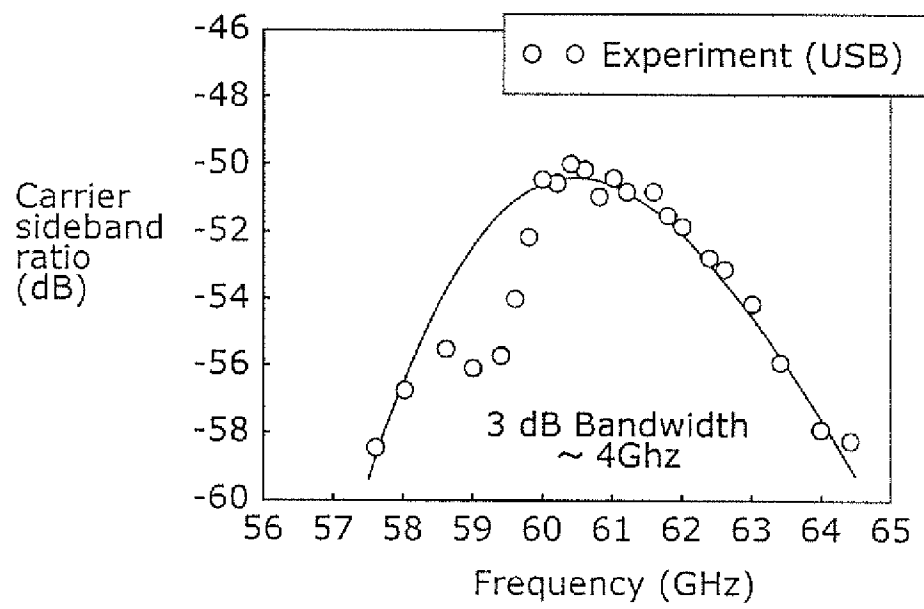
[図9]



[図10]



[図11]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/006195

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/03(2006.01)i, 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)

G02F1/03, G02F1/035, H04B10/00, G02B6/12

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 | 1996-2017 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2017 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2017 |

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

JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII), IEEE Xplore

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                 | Relevant to claim No. |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | MURATA, Hiroshi, KOHMU, Naohiro, OKAMURA, Yasuyuki, 60 GHz-Band Electro-Optic Modulators Using Array Antenna Electrodes and Polarization-Reversed Structures for SDM Wireless Systems, Proceedings of the 44th European Microwave Conference, 2014, 44th European Microwave Conference, pp.683-686 | 1-5                   |
| A         | WO 2010/001438 A1 (National Institute of Information and Communications Technology), 07 January 2010 (07.01.2010), paragraphs [0011] to [0046]; all drawings & US 2011/0103800 A1 paragraphs [0013] to [0051]; all drawings & EP 2296229 A1                                                        | 1-5                   |

☒ 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 a nother 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  
08 May 2017 (08.05.17)

Date of mailing of the international search report  
23 May 2017 (23.05.17)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/006195

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                    | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | US 9250452 B1 (HRL Laboratories, LLC),<br>02 February 2016 (02.02.2016),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)                                                                                                                               | 1-5                   |
| A         | JP 2004-245750 A (Sumitomo Osaka Cement Co.,<br>Ltd.),<br>02 September 2004 (02.09.2004),<br>paragraphs [0007] to [0011]; fig. 1 to 3<br>(Family: none)                                                                                               | 1-5                   |
| A         | WO 2006/025333 A1 (Osaka University),<br>09 March 2006 (09.03.2006),<br>paragraphs [0032] to [0064]; all drawings<br>& JP 2007-333753 A                                                                                                               | 1-5                   |
| A         | JP 2004-062158 A (Matsushita Electric<br>Industrial Co., Ltd.),<br>26 February 2004 (26.02.2004),<br>paragraphs [0044] to [0148]; fig. 4 to 24<br>& US 2003/0223669 A1<br>paragraphs [0084] to [0194]; fig. 4 to 24<br>& EP 1369741 A1 & CN 1467539 A | 1-5                   |
| A         | JP 03-021916 A (Japan Aviation Electronics<br>Industry Ltd.),<br>30 January 1991 (30.01.1991),<br>page 1, lower right column, line 17 to page 2,<br>upper right column, line 20; fig. 4<br>(Family: none)                                             | 1-5                   |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/03(2006.01)i, 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. G02F1/03, G02F1/035, H04B10/00, G02B6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2017年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2017年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2017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)

JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII), IEEE Xplore

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | MURATA, Hiroshi, KOHMY, Naohiro, OKAMURA, Yasuyuki, 60 GHz-Band Electro-Optic Modulators Using Array Antenna Electrodes and Polarization-Reversed Structures for SDM Wireless Systems, Proceedings of the 44th European Microwave Conference, 2014, 44th European Microwave Conference, pp.683-686 | 1-5            |
| A               | WO 2010/001438 A1 (独立行政法人情報通信研究機構)<br>2010.01.07, 段落[0011]-[0046], 全図<br>& US 2011/0103800 A1, 段落[0013]-[0051], 全図 & EP 2296229 A1                                                                                                                                                                 | 1-5            |

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  
「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

08.05.2017

国際調査報告の発送日

23.05.2017

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)

山本 貴一

2 L

4086

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                    |                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| A                     | US 9250452 B1 (HRL Laboratories, LLC)<br>2016.02.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)                                                                              | 1-5            |
| A                     | JP 2004-245750 A (住友大阪セメント株式会社)<br>2004.09.02, 段落【0007】-【0011】, 図1-3 (ファミリーなし)                                                                     | 1-5            |
| A                     | WO 2006/025333 A1 (国立大学法人大阪大学)<br>2006.03.09, 段落[0032]-[0064], 全図 & JP 2007-333753 A                                                               | 1-5            |
| A                     | JP 2004-062158 A (松下電器産業株式会社)<br>2004.02.26, 段落【0044】-【0148】, 図4-24 & US 2003/0223669 A1,<br>段落[0084]-[0194], 図4-24 & EP 1369741 A1 & CN 1467539 A | 1-5            |
| A                     | JP 03-021916 A (日本航空電子工業株式会社)<br>1991.01.30, 第1頁右下欄第17行-第2頁右上欄第20行, 第4図 (フ<br>ァミリーなし)                                                              | 1-5            |