

(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9月21日(21.09.2017)

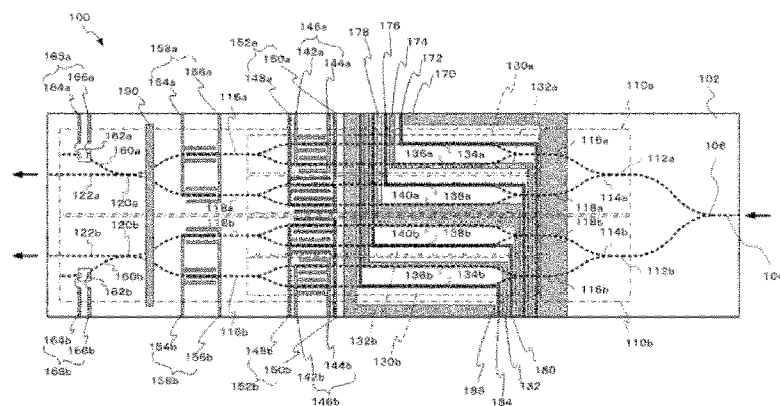


(10) 国際公開番号
WO 2017/158886 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/077463
- (22) 国際出願日: 2016年9月16日(16.09.2016)
- (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 2016-055655 2016年3月18日(18.03.2016) JP
- (71) 出願人: 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: 宮崎 徳一(MIYAZAKI Norikazu); 〒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). 菅又 徹(SUGAMATA Toru); 〒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: 特許業務法人クシブチ国際特許事務所(KUSHIBUCHI & ASSOCIATES); 〒3308669 埼玉県さいたま市大宮区桜木町一丁目7番地5 ソニックシティビル18階 Saitama (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, 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: OPTICAL MODULATOR AND OPTICAL TRANSMISSION DEVICE USING OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 光変調器、及び光変調器を用いた光送信装置



(57) Abstract: This optical modulator, which is provided with, on the same substrate: a bias electrode to which a dither signal is applied; and an optical detector which monitors an optical signal propagating in an optical waveguide, performs stable bias control by improving detection accuracy with which a dither-signal component intensity is detected by the optical detector. The optical modulator is provided with: a substrate (102) having a piezoelectric effect; an optical waveguide (116a, etc.) formed on the substrate; a bias electrode (158a, etc.) that controls an optical wave propagating in the optical waveguide; and an optical detector (168a, etc.) that is formed on the substrate and that monitors an optical signal propagating in the optical waveguide, wherein at least one suppression means (190, etc.) that suppresses a surface acoustic wave propagating from the bias electrode to the optical detector is disposed, on the substrate, between a region in which the bias electrode is formed and a portion in which the optical detector is disposed.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/158886 A1



ディザ信号が印加されるバイアス電極と、光導波路内を伝搬する光信号を監視する光検出器と、を同一基板上に備える光変調器において、当該光検出器により検出されるディザ信号成分強度の検知精度を向上して、安定なバイアス制御を行う。本光変調器は、圧電効果を有する基板（１０２）と、当該基板上に形成された光導波路（１１６ a等）と、当該光導波路を伝搬する光波を制御するバイアス電極（１５８ a等）と、前記基板上に形成され、前記光導波路を伝搬する光信号を監視する光検出器（１６８ a等）と、を備え、前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領域と、前記光検出器が配された部分との間に、前記バイアス電極から前記光検出器へ伝播する表面弾性波を抑制する少なくとも一つの抑制手段（１９０等）が配されている。

明 細 書

発明の名称： 光変調器、及び光変調器を用いた光送信装置

技術分野

[0001] 本発明は、光変調器、及び光変調器を用いた光送信装置に関し、特にバイアス電極と、出射光を監視する光検出器と、を同一基板上に形成した光変調器、及びそのような光変調器を用いた光送信装置に関する。

背景技術

[0002] 高速／大容量光ファイバ通信システムにおいては、導波路型の光変調器を組み込んだ光送信装置が多く用いられている。中でも、電気光学効果を有する LiNbO_3 （以下、LNともいう）を基板に用いた光変調器は、インジウムリン（InP）、シリコン（Si）、あるいはガリウム砒素（GaAs）などの半導体系材料を用いた変調器に比べて、光の損失が少なく且つ広帯域な光変調特性を実現し得ることから、高速／大容量光ファイバ通信システムに広く用いられている。

[0003] このLNを用いた光変調器では、マッハツェンダ光導波路と、変調信号である高周波信号を光導波路に印加するためのRF電極部と、当該光変調器における変調特性を良好に保つため種々の調整を行うためのバイアス電極と、が形成されている。このようなバイアス電極として、例えば、環境の温度変化等に起因するバイアス点の変動（いわゆる温度ドリフト現象）を補償すべく光導波路に電界を印加するためのバイアス電極や、光位相調整を行うためのバイアス電極がある。

[0004] 一方、光ファイバ通信システムにおける変調方式は、近年の伝送容量の増大の流れを受け、QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）やDP-QPSK（Dual Polarization - Quadrature Phase Shift Keying）等、多値変調や、多値変調に偏波多重を取り入れた伝送フォーマットが主流となっている。

[0005] QPSK変調を行う光変調器（QPSK変調器）やDP-QPSK変調を

行う光変調器（DP-QPSK変調器）は、ネスト型の複数のマッハツェンダ光導波路を備え、複数の高周波信号電極及び複数のバイアス電極を備えることから（例えば、特許文献1参照）、デバイスサイズが大型化する傾向があり、特に小型化の要請が強い。

[0006] 従来、このような小型化のための技術として、各電極と光導波路との間の相互作用を高めて、長さの短い電極でも駆動電圧を低減することのできる方法が提案されている。例えば、各導波路に対し、バイアス電極をプッシュ用電極とプル用電極とで構成される楕形電極（又は、すだれ状電極）として構成し、バイアス電極に印加すべき電圧（バイアス電圧）を低減する構成が知られている（例えば、特許文献2参照）。

[0007] 図13は、従来のDP-QPSK変調器の構成の一例を示す図である。このDP-QPSK変調器1300は、例えばZカットのLN基板1302上に形成されたネスト型のマッハツェンダ光導波路（図示太線の点線）と、電極（図示ハッチング部分）とで構成されている。この光変調器では、レーザダイオード等の光源（不図示）からの光が図示右方向から入射し、変調された光が図示左方向から出射する。出射した光は、例えば空間光学系により合波されて、光伝送路につながった光ファイバに入射される。

[0008] 光導波路は、図示右方向からの入射光を受ける入射導波路1304と、当該入射導波路を伝搬する光を分岐する光分岐部1306と、光分岐部1306で分岐されたそれぞれの光を変調する2つのマッハツェンダ光導波路部1310a、1310b、で構成されている。

[0009] マッハツェンダ光導波路部1310aは、入射導波路1312aと、当該入射導波路1312aを伝搬する光を分岐する光分岐部1314aと、光分岐部1314aで分岐されたそれぞれの光を伝搬させる平行導波路1316a、1318aと、当該平行導波路1316a、1318aを伝搬した光を合波する合波部1320aと、当該合波部1320aで合波された光を外部へ出射する出射導波路1322aと、を有する。また、マッハツェンダ光導波路部1310aは、上記平行導波路1316a及び1318aの一部にそ

れぞれ形成されたマッハツェンダ光導波路1330a（図示点線で示す矩形内の部分）、1332a（図示2点鎖線で示す矩形内の部分）を有する。

[0010] マッハツェンダ光導波路1330aの平行導波路1334a、1336aの光出射側（図示左方）と、マッハツェンダ光導波路1332aの平行導波路1338a、1340aの光出射側（図示左方）と、には、それぞれ、電極1342a、1344aで構成されるバイアス電極1346aと、電極1348a、1350aで構成されるバイアス電極1352aが形成されている。また、マッハツェンダ光導波路部1310aの平行導波路1316a、1318aの光出射側（図示左方）には、電極1354a、1356aで構成されるバイアス電極1358aが形成されている。

[0011] マッハツェンダ光導波路部1310bの構成は、図示のとおり、マッハツェンダ光導波路部1310aの構成と同様である。これにより、光変調器1300は、符号1346a、1352a、1358a、1346b、1352b、1358bで示される6個のバイアス電極を備える。また、光変調器1300には、4つのマッハツェンダ光導波路1330a、1332a、1330b、1332bの8本の平行導波路1334a、1336a、1338a、1340a、1334b、1336b、1338b、1340b上に、それぞれ電極1370、1372、1374、1376、1378、1380、1382、1384、1386で構成されるRF電極も形成されている。

[0012] ここで、バイアス電極1346a、1352a、1346b、1352bは、それぞれ、マッハツェンダ光導波路1330a、1332a、1330b、1332bで構成された光変調器のバイアス点を調整するためのバイアス電極であり、バイアス電極1358a及び1358bは、それぞれ、出射導波路1322a及び1322bから出射される光の位相を調整するためのバイアス電極である。

[0013] また、光変調器1300では、バイアス点調整や位相調整のために各バイアス電極1346a、1352a、1358a、1346b、1352b、

1 3 5 8 b に印加すべき電圧を低減すべく、これらのバイアス電極が、図示のように楕形電極として構成されている。

[0014] ところで、光変調器を実用装置に組み込んで使用する際には、上記温度ドリフトを補償して光伝送特性を良好な状態に維持すべく、バイアス点の変動が生じないようにバイアス電圧を正確に制御する必要がある。このため、温度ドリフトを補償するためのバイアス電極には、バイアス点の変化を検出するための低周波信号（ディザ信号）と、当該変化を補償してバイアス点を所定値に戻すための直流電圧（DC バイアス電圧）と、が印加される。

[0015] すなわち、ディザ信号をバイアス電極に印加しつつ、光変調器から出力される光信号を光検出器によりモニタし、当該光信号に含まれる当該ディザ信号の強度が最小となるように当該バイアス電極に印加する DC バイアス電圧を調整することで、温度ドリフト等のバイアス点の変化が補償される。

[0016] このような DC バイアス電圧の制御のための光検出器は、例えば、図 1 3 に示すように、出射導波路 1 3 2 2 a、1 3 2 2 b を伝搬する出射光（変調光）の一部を分岐する分岐導波路 1 3 6 0 a、1 3 6 0 b の一部（すなわち、分岐導波路 1 3 6 0 a、1 3 6 0 b が形成された LN 基板 1 3 0 2 の表面の一部）にそれぞれ配された光検出器 1 3 6 2 a、1 3 6 2 b として実現され得る。光検出器 1 3 6 2 a 及び 1 3 6 2 b の出力は、それぞれ、電極 1 3 6 4 a、1 3 6 6 a で構成されるモニタ電極 1 3 6 8 a、及び電極 1 3 6 4 b、1 3 6 6 b で構成されるモニタ電極 1 3 6 8 b、を介して光変調器 1 3 0 0 の外部へ出力される。

[0017] 図 1 4 A、図 1 4 B、図 1 4 C は、分岐導波路 1 3 6 0 a を伝搬する光の一部を光検出器 1 3 6 2 a に入射させるための構成の例を、光検出器 1 3 6 2 a が実装された LN 基板 1 3 0 2 の部分の、分岐導波路 1 3 6 0 a に沿った断面で示した図である。図 1 4 A に示す構成では、分岐導波路 1 3 6 0 a 上に光検出器 1 3 6 2 a が配され、光検出器 1 3 6 2 a は分岐導波路 1 3 6 0 a に対し透明樹脂 1 4 0 0 により接着されている。この構成においては、分岐導波路 1 3 6 0 a からしみだした光（エバネッセント光）を、光検出器

1362aの図示下部エッジ付近に配された受光器（不図示）により入射させて受信している。また、図14Bに示す構成では、分岐導波路1360a'上部のLN基板1302'の表面に凹凸部1402を設けて表面粗さを粗くし、分岐導波路1360a'を伝搬する光を当該表面において散乱させて基板外に放射させ、当該放射させた光を光検出器1362aに入射させて受信している。また、図14Cに示す構成では、分岐導波路1360a''が形成されたLN基板1302''の表面部分に溝1404を形成し、分岐導波路1360a''を伝搬する光を当該溝の壁面から出射させ、当該出射させた光を光検出器1362aに入射させて受信している。

[0018] バイアス電極1358a等に印加する上記ディザ信号の周波数は、特に、RF電極に印加される高周波信号よりも低い周波数であって、当該高周波信号に影響が出ないような周波数が選択される。また、バイアス電極が複数使用されている場合には、どのバイアス電極に印加されたディザ信号かを判別しやすいように、バイアス電極毎に異なる周波数のディザ信号が用いられる。

[0019] この場合、各デバイス電極に印加するディザ信号は、RF信号周波数（通常は数十GHz）に影響を与えないこと、互いの周波数が近接していないこと、必要な速度のフィードバック制御を行い得ること、等を考慮して数kHzから数百MHzの範囲で選択される。

[0020] 上記の構成を有する従来の光変調器は、一般には、温度ドリフト等が良好に補償されて適切に動作し得る。しかしながら、上記のように複数のバイアス電極を使用する光変調器（例えばDP-QPSK変調器）では、単一のバイアス電極を備える光変調器では見られなかったバイアス電圧制御についての新たな問題が発生し得る。この問題は、複数のバイアス電極を用いる光変調器に特徴的であり、以下のような現象が観測されている。

・一のバイアス電極にディザ信号を印加すると、一つ又は複数の他のバイアス電極における光特性制御（位相調整や温度ドリフト補償）が不安定になる場合がある。この場合、他のバイアス電極に加えて、当該一のバイアス

電極でも上記不安定現象が観測される場合がある。

- ・上記不安定現象は、隣り合った又は接近したバイアス電極間だけでなく、隣り合っていないバイアス電極間や、接近していないバイアス電極間においても発生し得る。

- ・上記不安定現象は、光変調器の周囲の環境温度に依存して発生したりしなかったりすることがある。

- ・上記不安定現象は、ディザ信号の周波数を別の周波数に変更すると解消される場合がある。

- ・上記不安定現象は、各バイアス電極にDC電圧のみを印加した場合には発生しない。

[0021] 上記の不安定現象は、「近接した電極間で発生する電氣的な干渉」では説明できない現象であって、長らくその要因は分かっていなかった。

[0022] 本願発明の発明者は、複数のバイアス電極を備える光変調器におけるバイアス制御動作の上記不安定現象を詳細に検討した結果、当該不安定現象の原因が、LN基板上のバイアス電極にディザ信号が印加されることにより発生する表面弾性波（Surface Acoustic Wave：SAW）である、との知見を得た。すなわち、LN基板上に形成された一のバイアス電極にディザ信号が印加されると、基板素材であるLNが有する圧電効果により基板表面に表面弾性波（Surface Acoustic Wave：SAW）が発生し、当該表面弾性波が基板表面を伝搬して他のバイアス電極に達することで、当該他のバイアス電極が上記一のバイアス電極に印加されたディザ信号を受信し、当該受信されたディザ信号が当該他のバイアス電極におけるバイアス制御動作に干渉を与えて悪影響を及ぼすのである。

[0023] この表面弾性波は、基板表面を伝搬、反射、散乱する音波であって、近接しない離れたバイアス電極にも作用し、また温度変化による基板物性変化（特に、基板表面における音波の伝搬速度や、基板の線膨張）等によって、その強度や周波数が変化する。このため、隣り合っていない又は接近していないバイアス電極間でも上記不安定現象が生じ、また、環境温度に依存して上

記不安定現象が発生したりしなかったりするるのである。

[0024] また、バイアス電極として楕形電極を用いているため、楕形電極に印加された電気信号が表面弾性波に変換される際の効率（例えば、印加された電気信号のパワーに対する、発生する表面弾性波のパワーの比）を表す電気音響変換効率が最大となる特性周波数に等しい周波数のディザ信号が当該バイアス電極に印加されたときに、上記不安定現象が顕著となる。そして、この特性周波数は、バイアス電極である楕形電極の電極間隔により定まる。

[0025] 図15は、光変調器のバイアス電極に用いられ得る楕形電極の構成の一例を示す図である。図示の楕形電極1500は、2つの電極1502と1504とで構成され、電極1502、1504は、それぞれ、図示水平方向に互いに並行に延在する3本の電極1510、1512、1514、及び1520、1522、1524を有している（以下、電極1510、1512、1514、及び1520、1522、1524のような、楕形電極が有する互いに並行な電極部分を、「楕形電極を構成する電極」ともいう）。総計6本の電極1520、1510、1522、1512、1524、1514は、同じ電極幅hを持ち、間隙（電極間隙）aで隔てられている。従って、電極間隔（ピッチ）pは、次式（1）で与えられる。

[数1]

$$p = a + h \quad (1)$$

[0026] このとき、楕形電極1500の特性周波数 f_0 （すなわち、電気音響変換効率が最大となる周波数）は、次の式（2）で与えられる。

[数2]

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2p} = \frac{v}{2(a+h)} \quad (2)$$

ここで、 v は、基板表面における表面弾性波の伝搬速度、 λ は、表面弾性波の波長である。換言すれば、電極間隔 p を有する楕形電極は、式（2）で示される特性周波数 f_0 を持ち、当該特性周波数 f_0 に等しい周波数を持つ電圧信号

が印加されると、当該特性周波数 f_0 に等しい周波数の表面弾性波を強く励振する。逆に、特性周波数 f_0 を持つ楕形電極に当該特性周波数 f_0 に等しい周波数の表面弾性波が入射すると、当該楕形電極には当該特性周波数 f_0 に等しい周波数を持つ電気信号が強く誘導される。楕形電極構造を有するバイアス電極では、当該誘導された電気信号が強い雑音信号となってバイアス制御動作に悪影響を与える。

[0027] 式(2)から明らかなように、特性周波数 f_0 は、電極幅 h 及び又は電極間隙 a を変更して電極間隔 p を変えることにより変化させることができる。

[0028] 弾性表面波の伝搬速度 v は、基板に用いた材料の種類や、当該材料の分子配列(例えば結晶方位)に対する基板表面の方向、及び弾性表面波の伝搬方向、等に依存して異なる値を持つ。例えば、基板としてYカットのLN基板を用いた場合、Z方向に伝搬する弾性表面波では3500m/s程度、基板として128°YカットのLN基板を用いた場合、X方向に伝搬する弾性表面波では4000m/s程度の伝搬速度となる。

[0029] 電極幅 h と電極間隙 a とは、光導波路を伝搬する光波の横方向のフィールドパターンやフィールド径(通常約10 μ m程度)を考慮して定められる。

[0030] 例えば、電極間隔15 μ m、電極幅20 μ m、表面弾性波の速度が3500m/sの場合、特性周波数 f_0 は50MHz程度となる。この場合、図示の楕形電極1500で構成されたバイアス電極に50MHzに近い周波数成分を持ったディザ信号が印加されると、強い表面弾性波が励振される。この表面弾性波は、当該楕形電極1500を構成する電極(例えば電極1520)の長さ方向に対し直交する方向(図示上下方向)へ向かって基板表面を伝搬し、他のバイアス電極(楕形電極)に達する。当該他のバイアス電極では、圧電効果によって当該表面弾性波が電気信号に変換され、上記周波数の雑音信号が生じて、バイアス制御動作に影響を受ける。

[0031] 他のバイアス電極が受ける影響の程度は、当該他のバイアス電極が、当該他のバイアス電極を構成する電極の長さ方向に対し直交する方向から上記弾性表面波が到来する位置に配され、且つ当該弾性表面波の周波数と同じ特性

周波数を持っている場合に、最も強くなる。また、当該影響の程度は、当該他のデバイスの当該特性周波数における電気音響変換効率の値にも依存し、当該効率が大きいほど大きい。

[0032] 本願発明の発明者は、上記知見に基づき、表面弾性波を介したバイアス電極間の干渉を抑制又は低減するための新規な構成を考案し、当該構成が当該干渉の抑制に効果的であることを検証した（具体的構成については、特願2016-036962に記載されている）。

[0033] しかしながら、図13に示す光変調器1300のように、バイアス電極1358a等に印加されたディザ信号により変調された光信号（より具体的には、出射導波路1322aを伝搬する出射光）に含まれる当該ディザ信号成分の大きさを検知するための（バイアス点検出のための）光検出器1362a、1362bを基板1302上に設けた場合には、さらなる問題として、バイアス電極1358a等において発生した表面弾性波が、LN基板1302の基板表面を伝搬して光検出器1362a、1362bの実装領域まで達し、光検出器1362a、1362bにおいて受信される光のパワーに変動を生じさせ得る。

[0034] すなわち、光検出器1362a、1362bは、図14A、図14B、図14Cに示すように分岐導波路1360a、1360bの上部に近接して配置されるため、LN基板1302の表面を伝搬する表面弾性波が到来すると、光検出器1362a、1362bと分岐導波路1360a、1360bとの間の幾何学距離が僅かに変動することとなる。このため、当該僅かな幾何学距離の変動によって、分岐導波路1360a、1360bから出射して光検出器1362a、1362bにより受信される光の量（受信光量）が変動することとなり得る。

[0035] また、光導波路に対し表面弾性波が作用すると、光弾性効果（圧力がかかると屈折率が変化する現象）等を介して伝搬光の状態が変化し、光検出器1362a、1362bにより受信される光の量が変動することとなり得る。

[0036] この受信光量の変動は、伝搬する種々の表面弾性波の周波数成分（すなわ

ち、バイアス電極 1 3 5 8 a 等に印加されたディザ信号の周波数成分)を含み、したがって、出射導波路 1 3 2 2 a を伝搬する出射光 (変調光) に含まれるディザ信号成分の強度についての、光検出器 1 3 6 2 a、1 3 6 2 b における検知誤差を生じさせる。その結果、光検出器 1 3 6 2 a、1 3 6 2 b を用いて行われるバイアス電圧制御動作 (バイアス制御動作ともいう) に不安定現象が生じ、光変調器 1 3 0 0 によって変調される光の伝送品質が悪化することとなる。

[0037] そして、バイアス電極と同一の基板上に形成された光検出器における、このような表面弾性波に起因するディザ信号成分の検知誤差は、図 1 3 に示すような複数のバイアス電極を含んで多くの表面弾性波を生じ得る光変調器において発生し得るのみならず、単一のバイアス電極のみを有する光変調器においても発生し得るものであり、当該検知誤差の低減を講じることが必要となり得る。

先行技術文献

特許文献

[0038] 特許文献1：特開 2 0 1 0 - 2 3 7 4 9 7 号公報

特許文献2：特開 2 0 0 3 - 2 3 3 0 4 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0039] 上記背景より、バイアス電圧とディザ信号とが印加されるバイアス電極と、出射光に含まれるディザ信号成分の強度をモニタする光検出器と、を同一基板上に備える光変調器において、当該光検出器により検出されるディザ信号成分強度の検知誤差を低減して、バイアス制御動作の不安定現象を解消することが望まれている。

課題を解決するための手段

[0040] 本発明の一の態様は、光変調器である。本光変調器は、圧電効果を有する基板と、当該基板上に形成された光導波路と、当該光導波路を伝搬する光波

を制御するバイアス電極と、前記基板上に形成され、前記光導波路を伝搬する光信号を監視する光検出器と、を備え、前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領域と、前記光検出器が配された部分との間に、前記バイアス電極から前記光検出器へ伝搬する表面弾性波を抑制する少なくとも一つの抑制手段が配されている。

本発明の他の態様によると、前記抑制手段は、前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領域と、前記光検出器が配された部分と、の間に設けられた金属膜で構成される。

本発明の他の態様によると、前記金属膜は、前記光検出器が接続される電極である。

本発明の他の態様によると、前記抑制手段は、前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領域と、前記光検出器が配された部分と、の間に塗布された樹脂で構成される。

本発明の他の態様によると、前記抑制手段は、前記光検出器の周囲を囲むように前記基板上に形成された金属膜で構成される。

本発明の他の態様によると、前記抑制手段は、前記光検出器のエッジ部周辺の前記基板上に塗布された樹脂で構成される。

本発明の他の態様によると、前記抑制手段は、前記光検出器の周囲を囲むように前記基板上に塗布された樹脂で構成される。

本発明の他の態様は、上記いずれかの光変調器を備える光送信装置である。

図面の簡単な説明

[0041] [図1]本発明の第1の実施形態に係る光変調器の構成を示す図である。

[図2]図1に示す光変調器の、表面弾性波抑制手段であるガードパターンの周辺の部分詳細図である。

[図3]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第1の変形例を示す図である。

[図4]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第2

の変形例を示す図である。

[図5]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第3の変形例を示す図である。

[図6]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第4の変形例を示す図である。

[図7A]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第5の変形例を示す図である。

[図7B]図7Aに示す表面弾性波抑制手段のAA断面矢視図である。

[図8]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第6の変形例を示す図である。

[図9]図1に示す光変調器に用いることのできる、表面弾性波抑制手段の第7の変形例を示す図である。

[図10]本発明の第2の実施形態に係る光変調器の構成を示す図である。

[図11]図10に示す光変調器の、表面弾性波抑制手段である溝部の周辺の部分詳細図である。

[図12]本発明の第3の実施形態に係る光送信装置の構成を示す図である。

[図13]従来の光変調器の構成を示す図である。

[図14A]光変調器における、分岐導波路を伝搬する光の一部を光検出器に入射させるための構成の一例を示す図である。

[図14B]光変調器における、分岐導波路を伝搬する光の一部を光検出器に入射させるための構成の他の一例を示す図である。

[図14C]光変調器における、分岐導波路を伝搬する光の一部を光検出器に入射させるための構成の更に他の一例を示す図である。

[図15]楕形電極の構成の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0042] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。なお、本実施形態に示す光変調器は、例えばDP-QPSK変調器であるが、本発明は、これに限らず、バイアス電極と、出射光（変調光）をモニタする（監視する）

光検出器と、を同一基板上に備える種々のタイプの光変調器により実施することができる。

[0043] <第1実施形態>

まず、本発明の第1の実施形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る光変調器の構成を示す図である。上述したように、本実施形態に係る光変調器100は、例えばDP-QPSK変調器であり、その基本構成は図13に示す従来のDP-QPSK変調器1300と同様である。すなわち、本光変調器100は、例えばZカットのLN基板102上に形成されたネスト型のマッハツェンダ光導波路（図示太線の点線）と、電極（図示ハッチング部分）とで構成されている。この光変調器では、レーザダイオード等の光源（不図示）からの光が図示右方向から入射し、変調された光が図示左方向から出射する。出射した光は、例えば空間光学系により合波されて、光伝送路につながった光ファイバに入射される。

[0044] 光導波路は、図示右方向からの入射光を受ける入射導波路104と、当該入射導波路104を伝搬する光を分岐する光分岐部106と、光分岐部106で分岐されたそれぞれの光を変調する2つのマッハツェンダ光導波路110a、110bと、で構成されている。

[0045] マッハツェンダ光導波路110aは、入射導波路112aと、当該入射導波路112aを伝搬する光を分岐する光分岐部114aと、光分岐部114aで分岐されたそれぞれの光を伝搬させる平行導波路116a、118aと、当該平行導波路116a、118aを伝搬した光を合波する合波部120aと、当該合波部120aで合波された光を外部へ出射する出射導波路122aと、を有する。また、マッハツェンダ光導波路110aは、上記平行導波路116a及び118aの一部にそれぞれ形成されたマッハツェンダ光導波路130a（図示点線で示す矩形内の部分）、132a（図示2点鎖線で示す矩形内の部分）を有する。

[0046] マッハツェンダ光導波路130aの平行導波路134a、136aの光出射側（図示左方）と、マッハツェンダ光導波路132aの平行導波路138

a、140aの光出射側（図示左方）と、には、それぞれ、電極142a、144aで構成されるバイアス電極146aと、電極148a、150aで構成されるバイアス電極152aが形成されている。また、マッハツェンダ光導波路110aの平行導波路116a、118aの光出射側（図示左方）には、電極154a、156aで構成されるバイアス電極158aが形成されている。そして、各バイアス電極146a、152a、158a、146b、152b、158bは、それぞれ、図示のように楕形電極を構成している。

[0047] マッハツェンダ光導波路110bの構成は、図示のとおり、マッハツェンダ光導波路110aの構成と同様である。また、光変調器100には、4つのマッハツェンダ光導波路130a、132a、130b、132bの8本の平行導波路134a、136a、138a、140a、134b、136b、138b、140b上に、それぞれ電極170、172、174、176、178、180、182、184、186で構成されるRF電極も形成されている。

[0048] ここで、バイアス電極146a、152a、146b、152bは、それぞれ、マッハツェンダ光導波路130a、132a、130b、132bで構成された光変調器のバイアス点を調整するためのバイアス電極であり、バイアス電極158a及び158bは、それぞれ、出射導波路122a及び122bから出射される光の位相を調整するためのバイアス電極である。

[0049] また、光変調器100は、さらに、合波部120a、120bからそれぞれ延在して出射導波路122a、122bを伝搬する出射光の一部をそれぞれ分岐する分岐導波路160a、160bと、分岐導波路160a、160bが形成されたLN基板102の基板面上に配された光検出器162a、162bと、を備える。ここで、光検出器162a、162bは、例えばホトダイオード（PD、Photo Diode）を光検出素子（不図示）として用いて構成されており、当該光検出素子により分岐導波路160a、160bからの光をそれぞれ検出すべく、当該光検出素子が分岐導波路160a、160bと対

面する位置となるように配されている。

[0050] また、光検出器 162 a、162 b は、LN 基板 102 の基板表面の、分岐導波路 160 a、160 b が形成された部分に対し、例えば透明樹脂を用いた接着剤により固定されており、例えば図 14 A に示す構成と同様に、それぞれ分岐導波路 160 a、160 b からしみだした光（エバネッセント光）を受信する。

[0051] 光検出器 162 a 及び 162 b の出力は、それぞれ、電極 164 a、166 a で構成されるモニタ電極 168 a、及び電極 164 b、166 b で構成されるモニタ電極 168 b、を介して光変調器 100 の外部へ出力される。

[0052] 特に、本実施形態の光変調器 100 は、LN 基板 102 上の、表面弾性波を発生する楕形電極構造を有するバイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b が形成された領域と、光検出器 162 a、162 b が配されている部分（又は領域）と、の間に、金属膜で構成されるガードパターン 190 が LN 基板 102 上に形成されている。このガードパターン 190 は、LN 基板 102 の表面を伝搬する表面弾性波の吸収体として作用し、バイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b から生じて光検出器 162 a、162 b の実装部分に到達する表面弾性波を抑制（又は阻止）する抑制手段（以下、表面弾性波抑制手段ともいう）を構成する。

[0053] 図 2 は、図 1 に示す光変調器 100 のガードパターン 190 の周辺の部分詳細図である。ガードパターン 190 より図示右側の、バイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b が形成された領域から到来する表面弾性波（図示波線矢印により模式的に示す）は、ガードパターン 190 によって吸収され、光検出器 162 a、162 b の実装部分への到達が阻止又は抑制される。なお、ガードパターン 190 は、表面弾性波を発生する楕形電極構造を有するバイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b が形成された領域と、光検出器 162 a、162 b が配されている部分（又は領域）と、の間に配される限りにおい

て、任意の位置に設けるものとすることができる。

[0054] このガードパターン190は、例えば金（Au）を用いて構成することができ、ガードパターン190による表面弾性波の吸収効果は、バイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bが形成された領域から光検出器162a、162bが配されている領域に向かう方向に沿って測ったガードパターン190の幅d20が広いほど高く、またガードパターン190の膜厚が厚いほど高い。したがって、ガードパターン190のサイズ（厚さを含む）は、バイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bから発生し得る表面弾性波の強度に応じて決定することが好ましい。特に、ガードパターン190の幅d20は、表面弾性波を効果的に吸収する観点から少なくとも表面弾性波の波長より長いことが望ましく、従って、バイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bから発生し得る表面弾性波の最も長い波長 λ_{max} より広いこと（すなわち、 $d20 \geq \lambda_{max}$ ）が特に望ましい。

[0055] また、一般に、光導波路上に金属膜を形成した場合、当該光導波路を伝搬する光が当該金属膜により吸収されて減衰することが知られている。したがって、このような光の減衰を防止すべく、例えば、ガードパターン190とLN基板102の表面との間に、当該LN基板102上に形成された光導波路（例えば116a、116b等）よりも屈折率の低い材料（例えばSiO₂）を用いたバッファ層を形成するものとしてもよい。また、上記光の減衰を防止する他の構成として、図1及び図2に示すガードパターン190のうち、光導波路（例えば、116a、116b等）上に形成される部分を除去して、ガードパターン190を複数の金属膜部分で構成するものとしてもよい。

[0056] 上述した本実施形態では、表面弾性波を発生するバイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bが形成された領域と、光検出器162a、162bが配されている部分（領域）と、の間に、表面弾性波を吸収する金属膜で構成されたガードパターン190を、表面弾性波

抑制手段として設けるものとした。ただし、他の実施形態においては、これに限らず、バイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b から発生して光検出器 162 a、162 b に到達する表面弾性波を抑制又は阻止できる限りにおいて、種々の表面弾性波抑制手段を用いるものとすることができる。

[0057] 以下、本実施形態についての表面弾性波抑制手段の変形例を、図 3～図 9 を用いて説明する。図 3～図 9 には、ガードパターン 190 に代えて用いることのできる種々の表面弾性波抑制手段を示している。なお、図 3～図 9 では、光検出器 162 a の周辺部分を例にとり、ガードパターン 190 に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示しているが、図 3～図 9 に示す構成は、光検出器 162 b の周辺部分にも同様に適用して、光検出器 162 b に到達する表面弾性波を抑制又は阻止することができる。

[0058] [第 1 の変形例]

まず、図 1 に示す光変調器 100 に用いられる表面弾性波抑制手段の第 1 の変形例について説明する。本変形例では、表面弾性波抑制手段として、ガードパターン 190 に代えて表面弾性波を吸収する樹脂が用いられている。

[0059] 図 3 は、本変形例に係る、ガードパターン 190 に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図 3 において、図 1 及び図 2 に示す構成要素と同じ構成要素については、図 1 及び図 2 に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図 1 及び図 2 についての説明を援用するものとする。

[0060] 図 3 に示す変形例では、表面弾性波抑制手段として、LN 基板 102 上の、表面弾性波を発生する楕円電極構造を有するバイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b が形成された領域と、光検出器 162 a が配されている部分（領域）と、の間に、LN 基板 102 上に樹脂 390 が塗布されている。この樹脂 390 は、LN 基板 102 の表面を伝搬する表面弾性波の吸収体として作用し、バイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b から生じて光検出器 162 a

の実装部分に到達する表面弾性波を抑制又は阻止する表面弾性波抑制手段を構成する。樹脂３９０は、例えば、紫外線硬化型の接着剤及び又はエポキシ系の接着剤であるものとすることができる。

[0061] なお、樹脂３９０による表面弾性波の吸収効果は、バイアス電極１４６ａ、１５２ａ、１４６ｂ、１５２ｂ、１５８ａ、１５８ｂが形成された領域から光検出器１６２ａ、１６２ｂが配されている領域に向かう方向に沿って測った樹脂３９０の幅ｄ３０が広いほど高く、また樹脂３９０の厚さが厚いほど高い。したがって、樹脂３９０のサイズ（厚さを含む）は、バイアス電極１４６ａ、１５２ａ、１４６ｂ、１５２ｂ、１５８ａ、１５８ｂから発生し得る表面弾性波の強度に応じて決定することが好ましい。特に、樹脂３９０の幅ｄ３０は、表面弾性波を効果的に吸収する観点から少なくとも表面弾性波の波長より長いことが望ましく、従って、バイアス電極１４６ａ、１５２ａ、１４６ｂ、１５２ｂ、１５８ａ、１５８ｂから発生し得る表面弾性波の最も長い波長 λ_{max} より広いこと（すなわち、 $d30 \geq \lambda_{max}$ ）が特に望ましい。

[0062] 〔第２の変形例〕

次に、図１に示す光変調器１００に用いられる表面弾性波抑制手段の第２の変形例について説明する。

図４は、本変形例に係る、ガードパターン１９０に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図４において、図１及び図２に示す構成要素と同じ構成要素については、図１及び図２に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図１及び図２についての説明を援用するものとする。

[0063] 本変形例では、図４に示すように、表面弾性波抑制手段として、表面弾性波を発生するバイアス電極１４６ａ等が形成された領域に対し光検出器１６２ａの実装部分（又は実装領域）を囲うように、表面弾性表面波を吸収する金属（例えば金（Ａｕ））による矩形枠状のガードパターン４９０がＬＮ基板１０２上に形成されている。このガードパターン４９０により、光検出器

162aの四方から当該光検出器162aに到達する表面弾性波が効果的に抑制又は阻止される。

[0064] ガードパターン490による表面弾性波の抑制（阻止）効果は、当該ガードパターン490を構成する帯状金属パターンの幅d40及び厚さに依存する。光検出器162aの周辺には、図4に示すように当該光検出器162aに接続する電極164a、166a等が近接して配されるため、幅d40を十分大きく確保できない場合には、当該帯状金属パターンの厚さを厚くする必要がある。ただし、表面弾性波を効果的に抑制するためには、ガードパターン490を構成する帯状金属パターンの幅d40は、少なくとも到来する表面弾性波より長いことが望ましく、従って、バイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bから発生し得る表面弾性波の最も長い波長 λ_{max} より広いこと（すなわち、 $d40 \geq \lambda_{max}$ ）が特に望ましい。

[0065] [第3の変形例]

次に、図1に示す光変調器100に用いられる表面弾性波抑制手段の第3の変形例について説明する。

図5は、本変形例に係る、ガードパターン190に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図5において、図1及び図2に示す構成要素と同じ構成要素については、図1及び図2に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図1及び図2についての説明を援用するものとする。

[0066] 本変形例では、図5に示すように、表面弾性波抑制手段として、表面弾性波を発生するバイアス電極146a等が形成された領域に対し光検出器162aの実装部分（又は実装領域）を囲うように、表面弾性表面波を吸収する樹脂590がLN基板102上に塗布されている。この樹脂590により、光検出器162aの四方から当該光検出器162aに到達する表面弾性波が効果的に抑制又は阻止される。樹脂590の幅及び厚さについての望ましい条件は図3に示す第1の変形例である樹脂390と同様であり、特にd50

$\geq \lambda_{\max}$ ($\lambda_{\max}$ は、発生し得る表面弾性波の最も長い波長)であることが望ましい。

[0067] [第4の変形例]

次に、図1に示す光変調器100に用いられる表面弾性波抑制手段の第4の変形例について説明する。

図6は、本変形例に係る、ガードパターン190に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図6において、図1及び図2に示す構成要素と同じ構成要素については、図1及び図2に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図1及び図2についての説明を援用するものとする。

[0068] 本変形例では、図6に示すように、光検出器162aに接続されるモニタ電極368aを構成する電極366a、366bが、表面弾性波を発生するバイアス電極146a等が形成された領域と光検出器162aが配されている領域との間まで延在して形成され、電極366a、366bが表面弾性波抑制手段として機能する。ここで、表面弾性波を効果的に抑制する観点からは、電極366a、366bの幅d60、d62のうち少なくとも一方が、バイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bから発生し得る表面弾性波の最も長い波長 $\lambda_{\max}$ より広いことが特に望ましい。

[0069] [第5の変形例]

次に、図1に示す光変調器100に用いられる表面弾性波抑制手段の第5の変形例について説明する。

図7A、図7Bは、本変形例に係る、ガードパターン190に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図7A、図7Bにおいて、図1及び図2に示す構成要素と同じ構成要素については、図1及び図2に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図1及び図2についての説明を援用するものとする。

[0070] 図7Aは、光検出器162a周辺の部分詳細図であり、図7Bは、光検出

器 1 6 2 a の部分の A A 断面矢視図である。なお、図 7 B においては、分岐導波路 1 6 0 a の記載を省略している。

[0071] 本変形例では、図 7 A、図 7 B に示すように、光検出器 1 6 2 a の、表面弾性波を発生するバイアス電極 1 4 6 a 等が形成された領域に面する側（すなわち、図示右側）のエッジ（以下、「表面弾性波到来方向のエッジ」ともいう）の部分に、樹脂 7 9 0 が、当該エッジから長さ $d 7 0$ に亘って塗布されている。この樹脂 7 9 0 は、表面弾性波抑制手段として機能し、バイアス電極 1 4 6 a 等が形成された領域から光検出器 1 6 2 a に到来する表面弾性波を抑制する。

[0072] 樹脂 7 9 0 の塗布長さ $d 7 0$ は、光検出器 1 6 2 a の表面弾性波到来方向のエッジから測った樹脂 7 9 0 の端部までの長さであり、表面弾性波を効果的に阻止する観点から、到来する表面弾性波のうち最も長い波長 λ_{max} 以上（すなわち、 $d 7 0 \geq \lambda_{max}$ ）であることが望ましい。なお、樹脂 7 9 0 は、図 3 に示す第 1 の変形例に係る樹脂 3 9 0 と同様に、例えば、紫外線硬化型の及び又はエポキシ系の接着剤であるものとすることができる。

[0073] 更に本接着剤は光検出器 1 6 2 a を基板上に固定する接着剤と同じ材料を使うことができる。この場合、光検出器 1 6 2 a を基板上に固定する通常の接着剤量より多くの量を塗布し、固定時に光検出器エッジ部周辺に接着剤がはみ出すようにする。このようにすると組立工数を増加させる事無く表面弾性波の影響を抑圧する構成を実現する事が出来、好適である。

[0074] なお、図 7 A、図 7 B に示す構成では、光検出器 1 6 2 a の、表面弾性波到来方向のエッジに対向するエッジ部分にも、表面弾性波到来方向のエッジ部分に塗布された樹脂 7 9 0 と等量の樹脂が塗布されている。これは、例えば接着材である樹脂 7 9 0 と等量の樹脂を相対向するエッジ部分に塗布することで、相対向するエッジ部分に塗布されたこれら樹脂部分が環境温度変動時にほぼ等量だけ熱膨張／収縮するようにして、分岐導波路 1 6 0 a と光検出器 1 6 2 a との間の光結合効率の、環境温度変動に起因する変動を抑制するためである。

[0075] また、図 7 A、図 7 B に示す本変形例では、光検出器 1 6 2 a の、表面弾性波到来方向のエッジと、当該エッジに対向するエッジに樹脂を塗布する構成としたが、これに限らず、光検出器 1 6 2 a の全周囲のエッジに樹脂を塗布するものとしてもよい。この場合、光検出器 1 6 2 a のエッジから外側に向かって広がる樹脂塗布部分の距離は、上記長さ $d 7 0$ と同様に、到来する表面弾性波のうち最も長い波長 λ_{max} 以上であることが望ましい。これにより、光検出器 1 6 2 a に向かって四方から到来する表面弾性波を効果的に抑制することができる。

[0076] [第 6 の変形例]

次に、図 1 に示す光変調器 1 0 0 に用いられる表面弾性波抑制手段の第 6 の変形例について説明する。

図 8 は、本変形例に係る、ガードパターン 1 9 0 に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図 8 において、図 1 及び図 2 に示す構成要素と同じ構成要素については、図 1 及び図 2 に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図 1 及び図 2 についての説明を援用するものとする。

[0077] 本変形例は、図 4 に示す第 2 の変形例に係るガードパターン 4 9 0 と、図 7 A、図 7 B に示す第 5 の変形例に係る樹脂 7 9 0 と、を組み合わせた構成である。すなわち、本変形例では、図 8 に示すように、光検出器 1 6 2 a の実装部分を囲うように、幅 $d 8 0$ の帯状金属膜（例えば金（Au））で構成される矩形枠状のガードパターン 8 9 0 が形成され、さらに、光検出器 1 6 2 a の、表面弾性波を発生するバイアス電極 1 4 6 a 等が形成された領域の方向の側のエッジ部に、樹脂 8 9 2 が、当該エッジから距離 $d 8 2$ に亘って塗布されている。すなわち、本変形例では、ガードパターン 8 9 0 と、樹脂 8 9 2 と、が表面弾性波抑制手段として機能し、到来する表面弾性波をより効果的に阻止することができる。なお、表面弾性波を効果的に阻止する観点から、幅 $d 8 0$ 及び距離 $d 8 2$ のうち少なくとも一方が、到来する表面弾性波のうち最も長い波長 λ_{max} 以上であることが望ましい。

[0078] 〔第 7 の変形例〕

次に、図 1 に示す光変調器 100 に用いられる表面弾性波抑制手段の第 6 の変形例について説明する。

図 9 は、本変形例に係る、ガードパターン 190 に代えて用いることのできる表面弾性波抑制手段を示す図である。なお、図 9 において、図 1 及び図 2 に示す構成要素と同じ構成要素については、図 1 及び図 2 に示す符号と同じ符号を用いて示すものとし、上述した図 1 及び図 2 についての説明を援用するものとする。

[0079] 本変形例は、図 6 に示す第 4 の変形例に係るモニタ電極 668a と、図 7 A、図 7 B に示す第 5 の変形例に係る樹脂 790 と、を組み合わせた構成である。すなわち、本変形例では、図 9 に示すように、光検出器 162a に接続されるモニタ電極 968a を構成する電極 964a、966a が、それぞれ幅 d_{90} 、 d_{92} をもって、表面弾性波を発生するバイアス電極 146a 等が形成された領域と光検出器 162a が配されている部分（領域）との間にまで延在して形成されている。また、光検出器 162a の、表面弾性波を発生するバイアス電極 146a 等が形成された領域に面する側（すなわち、図示右側）のエッジ部（すなわち、表面弾性波到来方向のエッジ部）に、樹脂 990 が、当該エッジから長さ d_{94} に亘って塗布されている。すなわち、本変形例では、電極 964a、966a と、樹脂 990 と、が表面弾性波抑制手段として機能し、到来する表面弾性波をより効果的に抑制する。

[0080] なお、表面弾性波を効果的に阻止する観点から、 d_{90} 、 d_{92} 、 d_{94} の少なくとも一つは、到来する表面弾性波のうち最も長い波長 λ_{max} 以上であることが望ましい。

[0081] 上述した本変形例では、図 9 に示すように、樹脂 990 が、光検出器 162a の、表面弾性波到来方向のエッジ部に塗布されている。ただし、他の実施形態においては、これに限らず、例えば電極 964a、966a により当該エッジ部に到来する表面弾性波を十分に阻止できる場合には、当該電極 964a、966a の端部（図示下方の端部）から回り込んで光検出器 162

aに到来する表面弾性波を更に阻止すべく、光検出器162aの図示下方のエッジ部に、樹脂990を塗布するものとしてもよい。

[0082] <第2実施形態>

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図10は、本発明の第2の実施形態に係る光変調器の構成を示す図である。図10において、図1に示す第1の実施形態に係る光変調器100と同じ構成要素については、図1における符号と同じ符号を用いるものとし、上述した第1の実施形態についての説明を援用するものとする。

[0083] 図10に示す本実施形態に係る光変調器1000は、第1の実施形態に係る光変調器100と同様の構成を有するが、LN基板102代えてLN基板1002を有し、LN基板1002は、ガードパターン190に代えて、合波部120a及び120bの近傍に溝部1090a、1090b、及び1090c（総称して、溝部1090ともいう）を有する。

[0084] 溝部1090は、光変調器100のガードパターン190と同様に、表面弾性波を発生する楕形電極構造を有するバイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bが形成された領域と、光検出器162a、162bが配されている領域と、の間に配されており、光変調器1000における表面弾性波抑制手段を構成する。

[0085] 図11は、図10に示す光変調器1000の溝部1090周辺の部分詳細図である。溝部1090（すなわち、溝部1090a、1090b、1090c）より図示右側の、バイアス電極146a、152a、146b、152b、158a、158bが形成された領域から到来する表面弾性波（図示波線矢印により模式的に示す）は、溝部1090によってその伝搬が阻止され、光検出器162a、162bの実装部分への到達が抑制される。

[0086] なお、溝部1090は、LN基板1002上における光導波路の形成部分を避けて形成されるが、光導波路の幅は10 μ m程度と非常に狭いので、光導波路の形成部分を避けて溝部1090が形成されていない部分（すなわち、溝部1090aと1090bの間、及び溝部1090bと1090cの間

）を通り抜けて光検出器 162 a、162 b に到達する表面弾性波の強度はほとんど無視できる。

[0087] なお、溝部 1090 は、表面弾性波を発生する楕形電極構造を有するバイアス電極 146 a、152 a、146 b、152 b、158 a、158 b が形成された領域と、光検出器 162 a、162 b が配されている領域と、の間である限り、任意の位置に配されるものとすることができる。ただし、上述したように、溝部 1090 は、光導波路の形成部分を避けて形成する必要があるため、光導波路形成部分によって分断される個所が少なくなるように配されることが望ましい。例えば、図 10 に示す例では、溝部 1090 は、合波部 120 a、120 b のみを避ければよい位置に配されている（すなわち、当該位置より、図示左右方向にずれた位置では、4 つの光導波路（116 a、118 a、116 b、118 b、又は 160 a、122 a、122 b、160 b）の形成部分（すなわち、4 か所）において分断されるのに対し、図 10 に示した溝部 1090 の位置では分断される個所は 2 か所となる）。

[0088] <第 3 実施形態>

次に、本発明の第 3 の実施形態について説明する。本実施形態は、第 1 及び第 2 実施形態に示した光変調器 100（図 3～図 9 に示す任意の変形例を含む）及び 1000 のいずれかを搭載した光送信装置である。

[0089] 図 12 は、本実施形態に係る光送信装置の構成を示す図である。本光送信装置 1200 は、光変調器 1210 を含む光変調ユニット 1220 と、光変調器 1210 に光を入射する光源 1230 と、光変調ユニット 1220 から出力された光を伝送する光ファイバ 1240 と、を有する。

[0090] 光変調ユニット 1220 は、また、光変調器 1210 から出力される 2 つの直交 2 偏光光の一部をそれぞれ分岐する光分岐器 1250 及び 1252 と、光分岐器 1250 及び 1252 により分岐された一方の光をそれぞれ受ける受光器 1260 及び 1262 を備える。受光器 1260 及び 1262 の出力は、フィードバック信号としてバイアス制御部 1280（後述）に出力さ

れる。

[0091] さらに、光変調ユニット1220は、偏波合成器1270を備える。

光変調ユニット1220に含まれる光変調器1210は、図1及び図10に示す光変調器100（図3～図9に示す任意の変形例を含む）及び1000のいずれかであり、偏波合成器1270は、光変調器1210から出力されて光分岐器1250及び1252をそれぞれ通過した2つの直交2偏光光を合波して、光ファイバ1240に入力する。

[0092] 光送信装置1200は、また、光変調器1210が備えるバイアス電極を制御する制御装置であるバイアス制御部1280を有する。バイアス制御部1280は、バイアス点制御のための直流電圧にバイアス点の変動を検出するためのディザ信号を重畳したバイアス電圧を、光変調器1210が備えるバイアス電極に印加する。そして、バイアス制御部1280は、光変調ユニット1220内の受光器1260、1262から出力されるフィードバック信号内のディザ信号周波数成分の強度をモニタすることにより、光変調器1210が備えるバイアス電極に印加する上記直流電圧の大きさを制御する。

[0093] バイアス制御部1280は、また、光変調器1210が複数のバイアス電極を備えるときは、バイアス電極毎に異なる周波数のディザ信号を用いたバイアス電圧を、それぞれのバイアス電極に印加する。

[0094] なお、ディザ信号は、正弦波に限らず、こぎり波、パルス波、三角波、階段波等、任意の波形を有する信号をすることができる。

[0095] また、ディザ信号は必ずしも常時印加する信号である必要は無く、バイアス点を検出する目的で間欠的に印加される電気信号であっても良い。

また前述実施例では光検出器が2分岐された導波路の一つの上に設置されている構成を例示したが、光検出器が基板上に構成されていれば良く、導波路の分岐数に関係なくまた導波路上でない部分に光検出器を設置しても良い。

[0096] 以上、説明したように、上述した実施形態に示す光変調器（100、1000）は、複数のバイアス電極（158a等）と出射光（変調光）の強度を監視するための光検出器（162a等）を同一の基板（102等）上に備え

、当該基板上の、バイアス電極が形成された領域と光検出器が配された部分との間に、バイアス電極から発生して光検出器に到達する表面弾性波を抑制するための表面弾性波抑制手段（１９０等）を備える。

[0097] これにより、本光変調器１００、１０００では、光検出器１６２ａ等により検出される出射光の強度は、バイアス電極１５８ａ等に印加されたディザ信号により当該バイアス電極１５８ａ等から発生する表面弾性波に起因した変動を生じない。その結果、光検出器１６２ａ等を用いて当該出射光に含まれるディザ信号成分強度を精度よく検知することができるので、安定なバイアス制御動作を行うことができ、当該光変調器１００、１０００を用いた光信号伝送の伝送品質を良好に維持することができる。

符号の説明

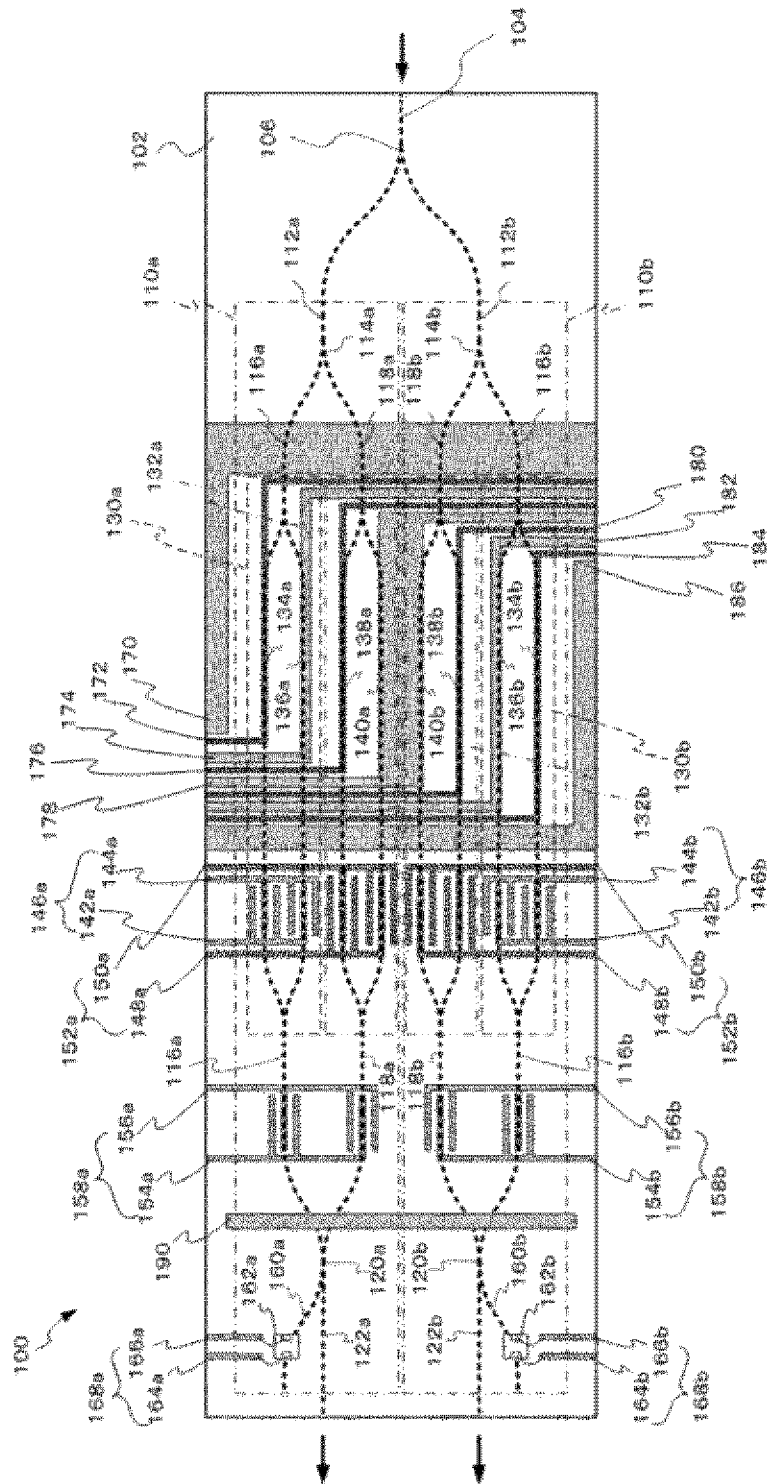
[0098] １００、１０００・・・光変調器、１０２、１００２・・・基板、１０４、１１２ａ、１１２ｂ・・・入射導波路、１０６、１１４ａ、１１４ｂ・・・光分岐部、１１０ａ、１１０ｂ、１３０ａ、１３０ｂ、１３２ａ、１３２ｂ・・・マッハツェンダ光導波路、１１６ａ、１１６ｂ、１３４ａ、１３４ｂ、１３６ａ、１３６ｂ・・・平行導波路、１２０ａ、１２０ｂ・・・合波部、１２２ａ、１２２ｂ・・・出射導波路、１４６ａ、１４６ｂ、１５２ａ、１５２ｂ、１５８ａ、１５８ｂ・・・バイアス電極、１６０ａ、１６０ｂ・・・分岐導波路、１６２ａ、１６２ｂ・・・光検出器、１６８ａ、１６８ｂ、６６８、９６８・・・モニタ電極、１９０、４９０、８９０・・・ガードパターン、１７０、１７２、１７４、１７６、１７８、１８０、１８２、１８４、１８６・・・ＲＦ電極、３９０、５９０、７９０、８９２、９９０・・・樹脂、１０９０・・・溝部、１２００・・・光送信装置、１２１０・・・光変調器、１２２０・・・光変調ユニット、１２３０・・・光源、１２４０・・・光ファイバ、１２５０、１２５２・・・光分岐器、１２６０、１２６２・・・受光器、１２７０・・・偏波合成器、１２８０・・・バイアス制御部。

請求の範囲

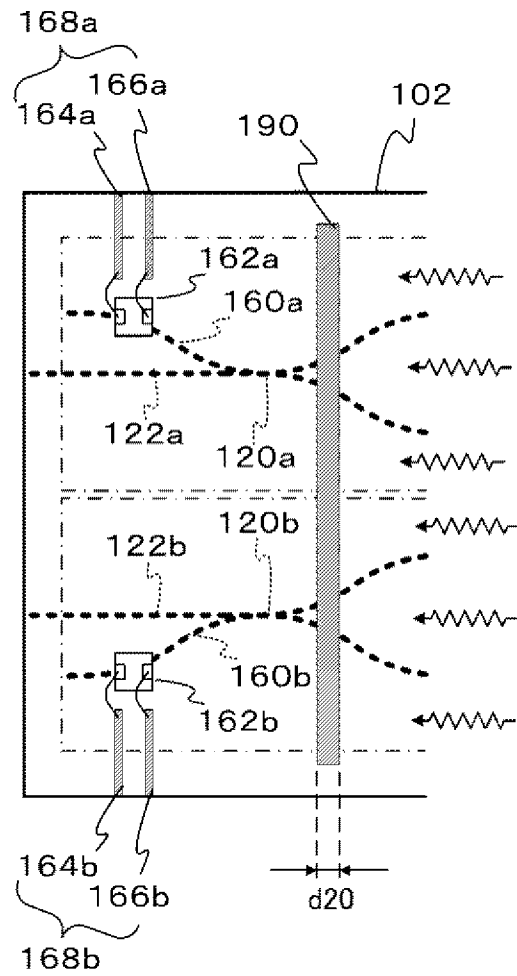
- [請求項1] 圧電効果を有する基板と、
 当該基板上に形成された光導波路と、
 当該光導波路を伝搬する光波を制御するバイアス電極と、
 前記基板上に形成され、前記光導波路を伝搬する光信号を監視する
光検出器と、
 を備え、
 前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領域と、前記光検出
器が配された部分との間に、前記バイアス電極から前記光検出器へ伝
搬する表面弾性波を抑制する少なくとも一つの抑制手段が配されてい
る、
 光変調器。
- [請求項2] 前記抑制手段は、前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領
域と、前記光検出器が配された部分と、の間に設けられた金属膜で構
成される、
 請求項 1 に記載の光変調器。
- [請求項3] 前記金属膜は、前記光検出器が接続される電極である、請求項 2 に
記載の光変調器。
- [請求項4] 前記抑制手段は、前記基板上の、前記バイアス電極が形成された領
域と、前記光検出器が配された部分と、の間に塗布された樹脂で構成
される、
 請求項 1 に記載の光変調器。
- [請求項5] 前記抑制手段は、前記光検出器の周囲を囲むように前記基板上に形
成された金属膜で構成される、
 請求項 1 に記載の光変調器。
- [請求項6] 前記抑制手段は、前記光検出器のエッジ部周辺の前記基板上に塗布
された樹脂で構成される、
 請求項 1、3、又は 5 に記載の光変調器。

- [請求項7] 前記抑制手段は、前記光検出器の周囲を囲むように前記基板上に塗布された樹脂で構成される、
請求項 1 に記載の光変調器。
- [請求項8] 請求項 1 ないし 7 のいずれか一項に記載の光変調器を備える光送信装置。

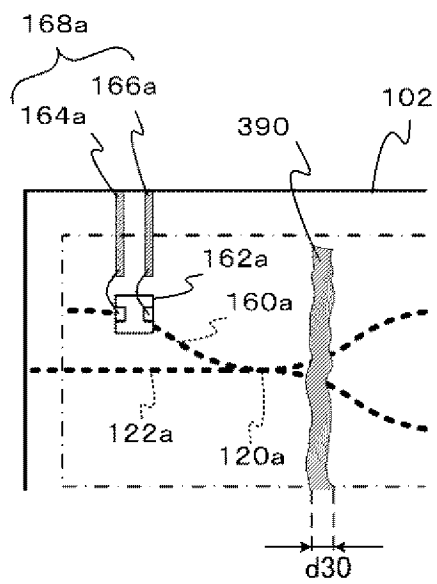
[図1]



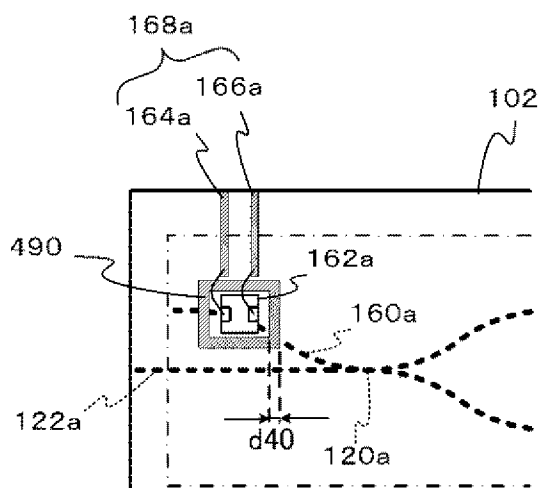
[図2]



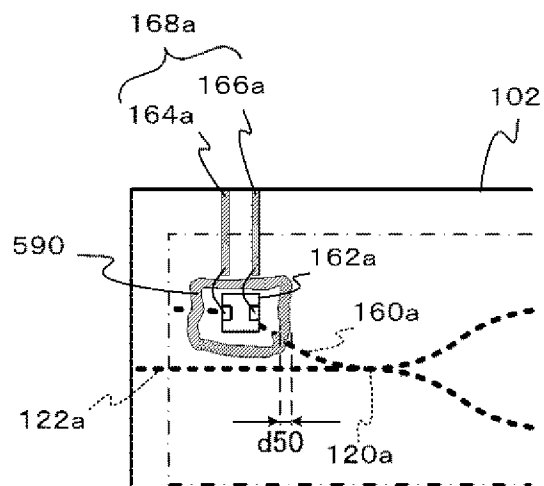
[図3]



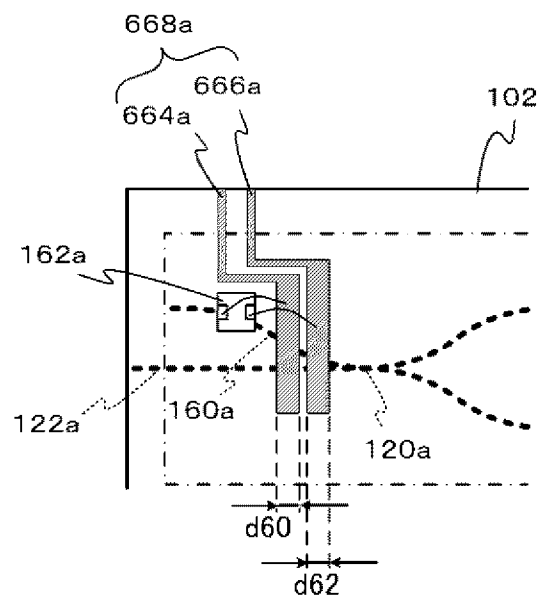
[図4]



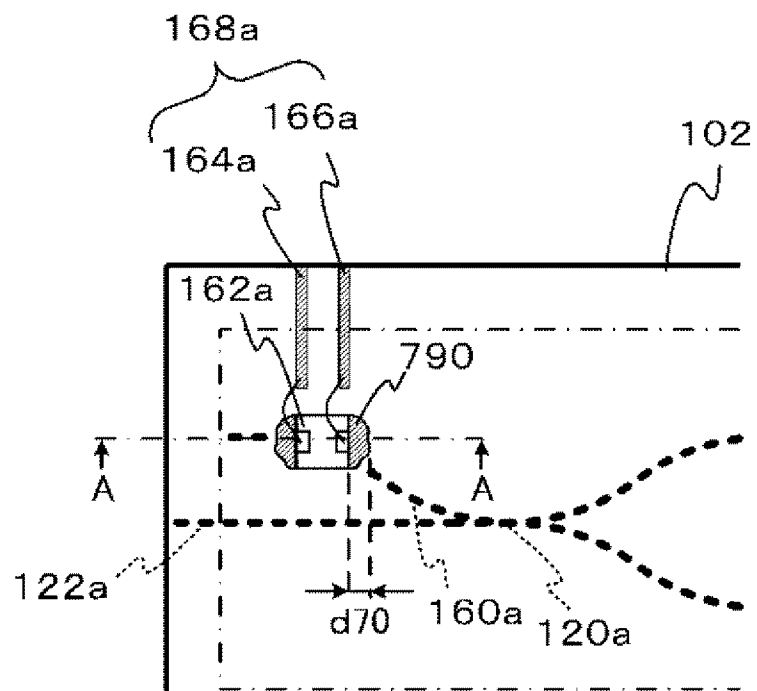
[図5]



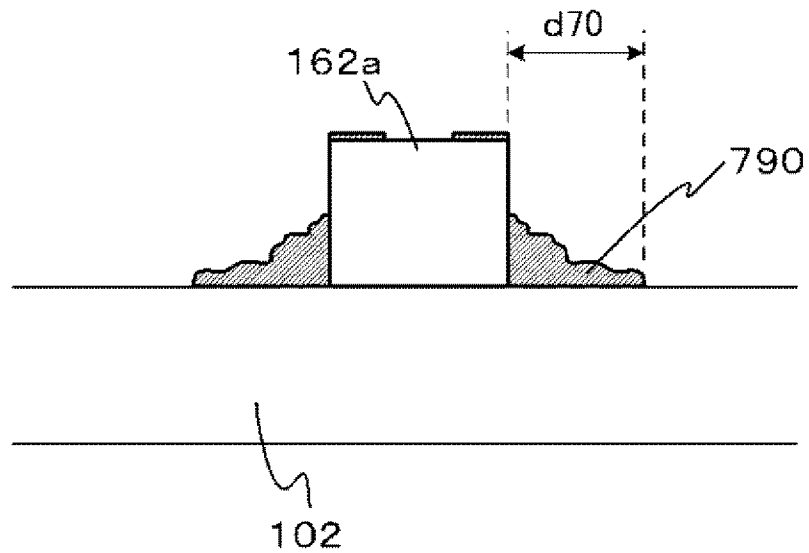
[図6]



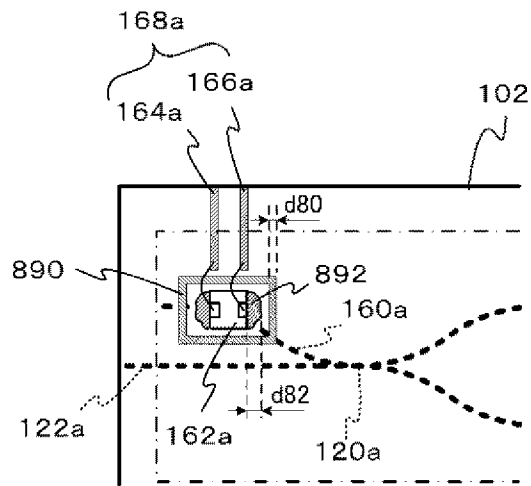
[図7A]



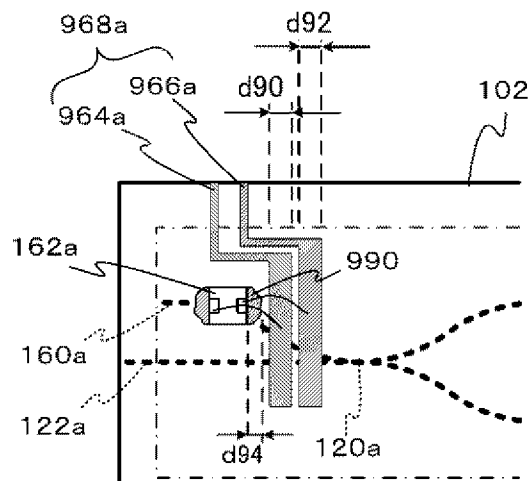
[図7B]



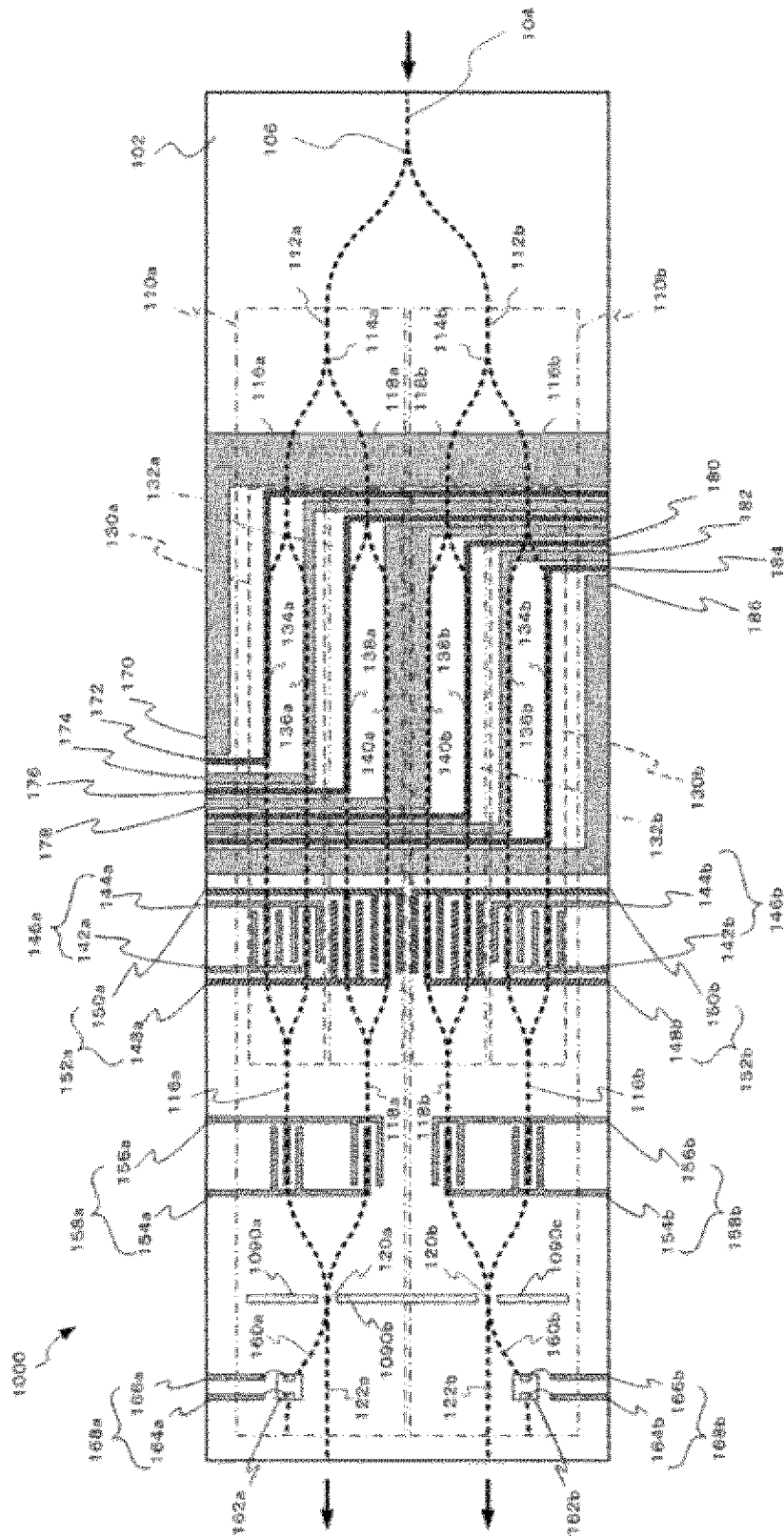
[図8]



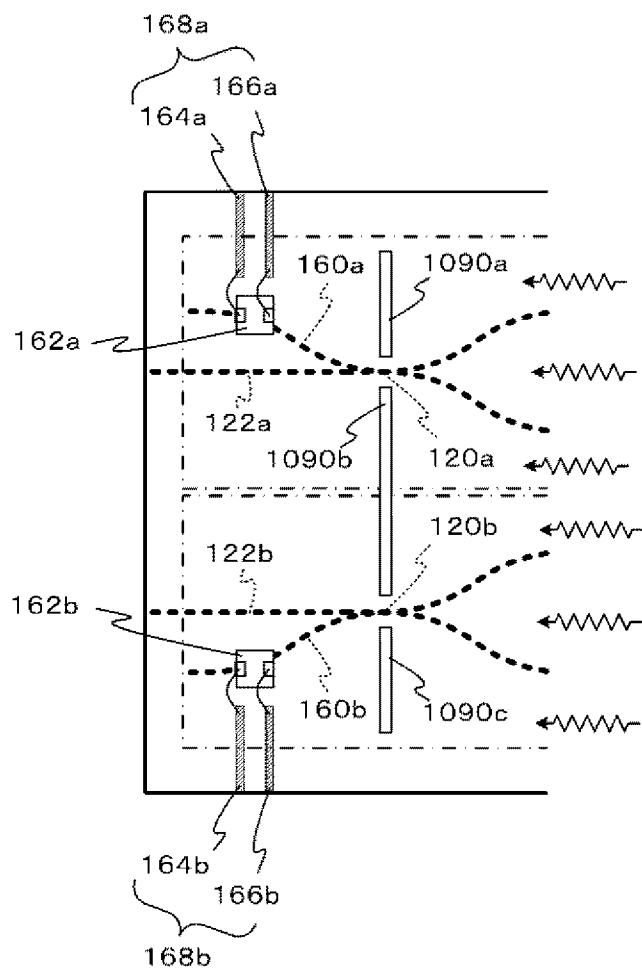
[図9]



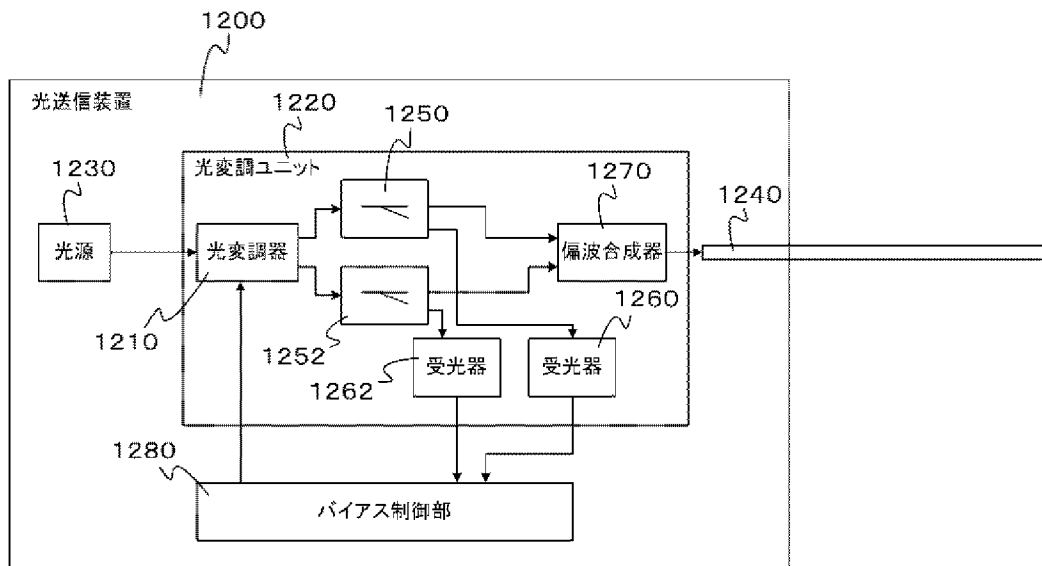
[図10]



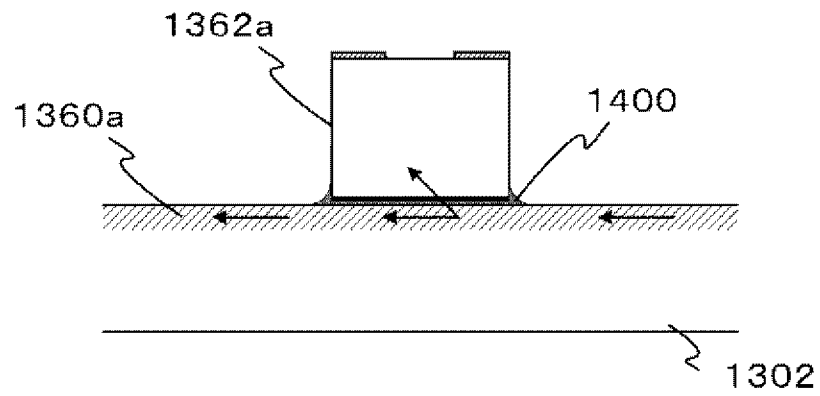
[図11]



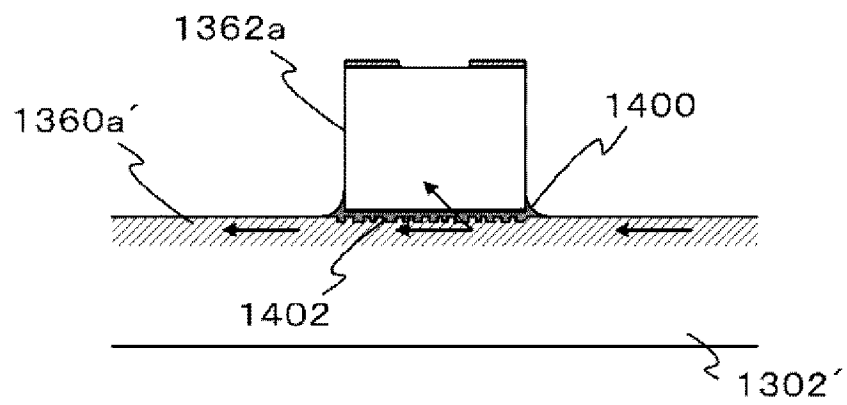
[図12]



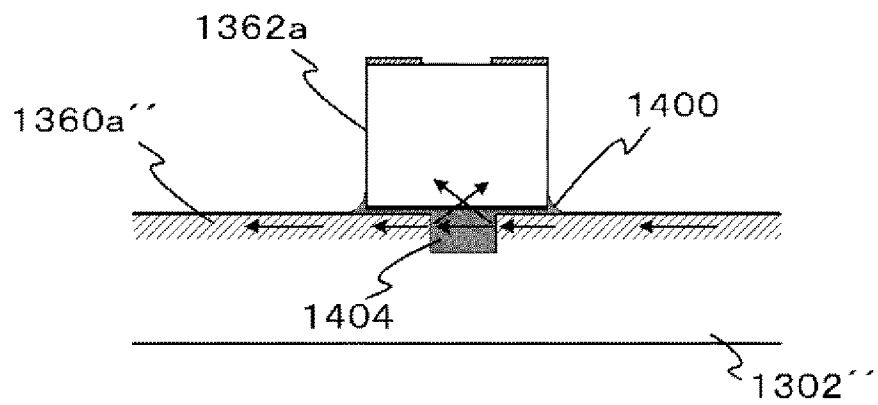
[図14A]



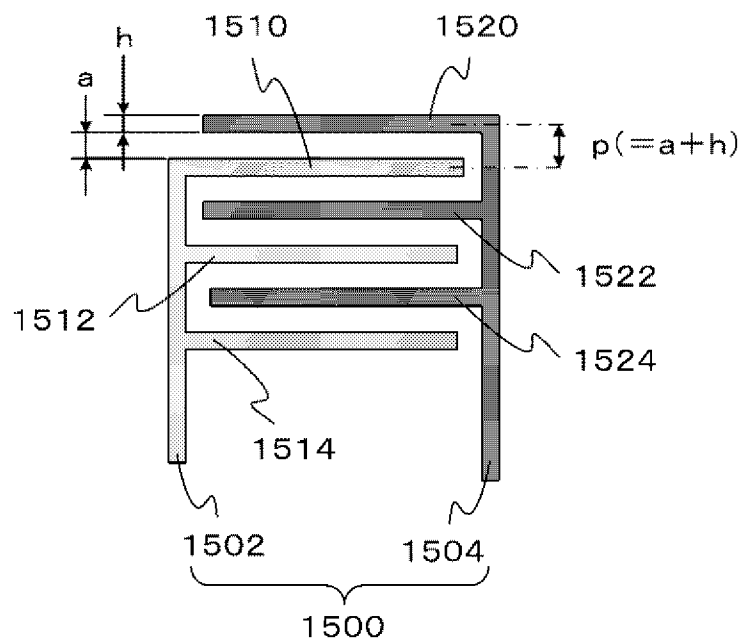
[図14B]



[図14C]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/077463

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)

G02F1/00-1/125, 1/21-7/00, G02B6/12-6/14, 6/26-6/27, 6/30-6/34, 6/42-6/43

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 2015-018193 A (Fujitsu Optical Components Ltd.), 29 January 2015 (29.01.2015), paragraphs [0012] to [0013], [0028] to [0029], [0034], [0041] to [0043], [0055]; fig. 6 to 7 & US 2015/0016771 A1 paragraphs [0028] to [0029], [0044] to [0045], [0050], [0057] to [0059], [0071]	1-8
X Y	JP 2002-040382 A (Fujitsu Ltd.), 06 February 2002 (06.02.2002), paragraphs [0002], [0024], [0052]; fig. 1 & US 2002/0041721 A1 paragraphs [0006] to [0008], [0068], [0123]	1-2, 4, 6, 8 5, 7

☒ 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
21 November 2016 (21.11.16)

Date of mailing of the international search report
06 December 2016 (06.12.16)

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/JP2016/077463

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-093806 A (Epson Toyocom Corp.), 12 April 2007 (12.04.2007), fig. 3 (Family: none)	5, 7
A	JP 2000-275589 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 06 October 2000 (06.10.2000), claim 1 (Family: none)	1-8
A	WO 2011/111398 A1 (Panasonic Corp.), 15 September 2011 (15.09.2011), paragraphs [0184] to [0187] & US 2012/0075637 A1 paragraphs [0233] to [0236] & CN 102472943 A	1-8
A	JP 51-027941 A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), 09 March 1976 (09.03.1976), page 3, lower right column, line 13 to page 4, upper left column, line 1; fig. 3 (Family: none)	1-8

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. G02F1/00-1/125, 1/21-7/00, G02B6/12-6/14, 6/26-6/27, 6/30-6/34, 6/42-6/43

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 2015-018193 A（富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社） 2015.01.29, [0012] - [0013]、[0028] - [0029]、[0034]、[0041] - [0043]、[0055]、図6-7 & US 2015/0016771 A1, [0028]-[0029], [0044]-[0045], [0050], [0057]-[0059], [0071]	1-8

☒ 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

21.11.2016

国際調査報告の発送日

06.12.2016

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）

佐藤 秀樹

2 L

3 1 5 4

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 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 2002-040382 A (富士通株式会社) 2002.02.06, [0002]、[0024]、[0052]、図1	1-2, 4, 6, 8
Y	& US 2002/0041721 A1, [0006]-[0008], [0068], [0123]	5, 7
Y	JP 2007-093806 A (エプソントヨコム株式会社) 2007.04.12, 図3 (ファミリーなし)	5, 7
A	JP 2000-275589 A (住友大阪セメント株式会社) 2000.10.06, 請求項1 (ファミリーなし)	1-8
A	WO 2011/111398 A1 (パナソニック株式会社) 2011.09.15, [0184] - [0187] & US 2012/0075637 A1, [0233]-[0236] & CN 102472943 A	1-8
A	JP 51-027941 A (日本電信電話公社) 1976.03.09, 第3ページ右下欄第13行から第4ページ左上欄第1行、図3 (ファミリーなし)	1-8