

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年9月26日(26.09.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/195208 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01) **G02B 6/12** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/042864
- (22) 国際出願日: 2023年11月30日(30.11.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-045794 2023年3月22日(22.03.2023) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所
(**MURATA MANUFACTURING CO., LTD.**) [JP/
JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1
丁目 10 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: ▲浜 ▼村 聡希(**HAMAMURA, Satoki**);
〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1

0 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
會田 康弘(**AIDA, Yasuhiro**); 〒6178555 京都
府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 株式
会社村田製作所内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: アセンド弁理士法人(**ASCEND IP LAW
FIRM**); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島
一丁目 5 番 17 号 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 光変調器

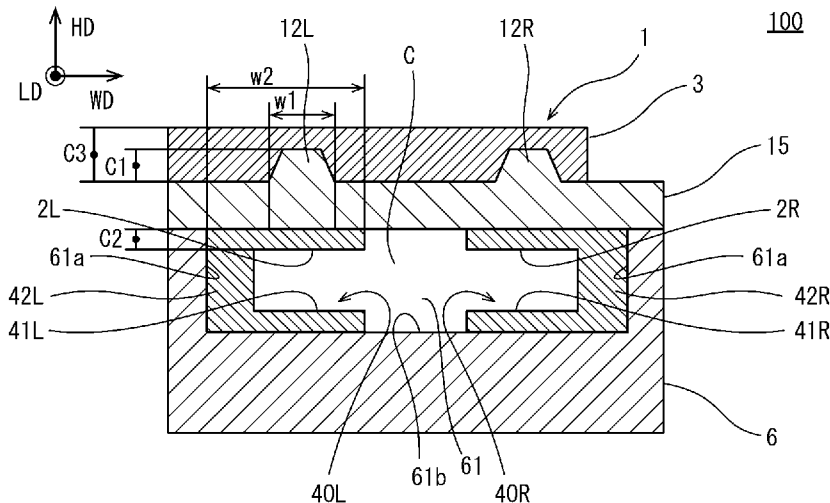


FIG. 2A

(57) **Abstract:** An optical modulator (100) includes an optical waveguide (1), first electrodes (2R, 2L), a second electrode (3), and first wiring electrodes (40R, 40L). The first electrodes (2R, 2L) are disposed on one side of the optical waveguide (1) in a height direction (HD) of the optical modulator (100) and extend along a portion of the optical waveguide (1). The second electrode (3) is disposed on the other side of the optical waveguide (1) in the height direction of the optical modulator (100). The first wiring electrodes (40R, 40L) are disposed on the opposite side of the first electrodes (2R, 2L) from the optical waveguide (1) in the height direction (HD) of the optical modulator (100) and are electrically connected to the first electrodes (2R, 2L). The first wiring electrodes (40R, 40L) include wiring sections disposed so as to be led out of ends of the first electrodes (2R, 2L) in the extending direction thereof, when viewed in the height direction (HD).



PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 光変調器 (100) は光導波路 (1) と第1電極 (2R, 2L) と第2電極 (3) と第1配線電極 (4OR, 4OL) とを備える。第1電極 (2R, 2L) は、光導波路 (1) に対して光変調器 (100) の高さ方向 (HD) の一方側に配置され、光導波路 (1) の一部に沿って延在する。第2電極 (3) は、光導波路 (1) に対して光変調器 (100) の高さ方向の他方側に配置される。第1配線電極 (4OR, 4OL) は、光変調器 (100) の高さ方向 (HD) において第1電極 (2R, 2L) に対して光導波路 (1) と反対側に配置され、第1電極 (2R, 2L) に電氣的に接続される。第1配線電極 (4OR, 4OL) は、高さ方向 (HD) に沿って見て第1電極 (2R, 2L) の延在方向の端部から引き出されるように配置された配線部を含む。

明 細 書

発明の名称：光変調器

技術分野

[0001] 本開示は、光変調器に関する。

背景技術

[0002] 光通信では、光信号と電気信号とを相互に変換する光トランシーバが必要とされる。光トランシーバは、主要部品として光変調器を備える。光変調器は、電気信号を光信号に変換する役割を担う。

[0003] 例えば、特許文献1の図1には、従来の光変調器として、コプレーナ型の電極配置を有する光変調器が例示されている。この光変調器では、光導波路及び制御電極を有する光制御用基板と、配線電極を有する回路基板とが積層されている。制御電極は、光制御用基板内の光導波路に電界を印加するため、光制御用基板の回路基板側の面に形成されている。配線電極は、制御電極に対する変調信号の供給又は導出を行うため、回路基板の光制御用基板側の面に形成されている。制御電極は、信号電極及び接地電極を含む。配線電極は、信号電極及び接地電極に対応して設けられ、信号電極及び接地電極のそれぞれの端部に接続されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2017-068071号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1の光変調器では、信号電極に接続された配線電極と、接地電極に接続された配線電極とが回路基板上に並列に配置されている。これらの配線電極は、光導波路に電界を印加する目的の電極ではないため、できるだけ離れて配置されていることが好ましい。配線電極同士の距離が短い場合、配線電極によって形成される電界が光導波路の光変調部以外にも印加され、電

氣的な損失が大きくなる可能性がある。しかしながら、特許文献１の光変調器において配線電極の距離を確保しようと場合、配線電極を回路基板の面内方向に離す必要があり、光変調器が特に幅方向に大型化するという問題がある。

[0006] 本開示の目的は、大型化を抑制しつつ電氣的な損失を低減することができる光変調器を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示に係る光変調器は、光導波路と、第１電極と、第２電極と、第１配線電極とを備える。光導波路は、電気光学効果を有する。第１電極は、光導波路に対して光変調器の高さ方向の一方側に配置され、光導波路の一部に沿って延在する。第２電極は、光導波路に対して光変調器の高さ方向の他方側に配置され、第１電極との間で電位差を形成し第１電極とともに光導波路に電界を印加する。第１配線電極は、光変調器の高さ方向において第１電極に対して光導波路と反対側に配置され、第１電極に電氣的に接続される。第１配線電極は、光変調器の高さ方向に沿って見て第１電極の延在方向の端部から引き出されるように配置された配線部を含む。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、光変調器の大型化を抑制しつつ、電氣的な損失を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図１は、第１実施形態に係る光変調器の平面図である。

[図2A]図２Ａは、第１実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図2B]図２Ｂは、第１実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図2C]図２Ｃは、第１実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図2D]図２Ｄは、第１実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図2E]図２Ｅは、第１実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図2F]図２Ｆは、第１実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図3A]図３Ａは、第１実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式

図である。

[図3B]図3 Bは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図3C]図3 Cは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図3D]図3 Dは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図3E]図3 Eは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4A]図4 Aは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4B]図4 Bは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4C]図4 Cは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4D]図4 Dは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4E]図4 Eは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4F]図4 Fは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図4G]図4 Gは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図5A]図5 Aは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図5B]図5 Bは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図5C]図5 Cは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式

図である。

[図5D]図5 Dは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図5E]図5 Eは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図5F]図5 Fは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6A]図6 Aは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6B]図6 Bは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6C]図6 Cは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6D]図6 Dは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6E]図6 Eは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6F]図6 Fは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図6G]図6 Gは、第1実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図7]図7は、第2実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図8]図8は、第3実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図9]図9は、第3実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図10]図10は、第4実施形態に係る光変調器の平面図である。

[図11]図11は、第4実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図12]図12は、第5実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図13]図13は、第6実施形態に係る光変調器の平面図である。

[図14]図14は、第6実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図15]図15は、第7実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図16]図16は、第8実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図17]図17は、第9実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図18]図18は、第9実施形態に係る光変調器の変形例を示す模式図である。
。

[図19]図19は、第9実施形態に係る光変調器の変形例を示す模式図である。
。

[図20]図20は、第10実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。
。

[図21]図21は、第11実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。
。

[図22]図22は、第11実施形態に係る光変調器の変形例を示す模式図である。
。

[図23A]図23Aは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図23B]図23Bは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図23C]図23Cは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図23D]図23Dは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図23E]図23Eは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図23F]図23Fは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図24A]図24Aは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図24B]図24Bは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図24C]図24Cは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図24D]図24Dは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図24E]図24Eは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図24F]図24Fは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図25A]図25Aは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図25B]図25Bは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図25C]図25Cは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図25D]図25Dは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図25E]図25Eは、第11実施形態に係る光変調器の製造方法の一例を示す模式図である。

[図26]図26は、第12実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。
。

[図27]図27は、第13実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。
。

[図28]図28は、第14実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。
。

[図29]図29は、第15実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。
。

[図30]図30は、第15実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図31]図31は、第15実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

[図32]図32は、第15実施形態に係る光変調器の構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の実施形態について説明する。なお、以下の説明では、本開示の実施形態について例を挙げて説明するが、本開示は以下で説明する例に限定されない。以下の説明において特定の数値や特定の材料を例示する場合があるが、本開示はそれらの例示に限定されない。

[0011] 本開示の実施形態に係る光変調器は、光導波路と、第1電極と、第2電極と、第1配線電極とを備える。光導波路は、電気光学効果を有する。第1電極は、光導波路に対して光変調器の高さ方向の一方側に配置され、光導波路の一部に沿って延在する。第2電極は、光導波路に対して光変調器の高さ方向の他方側に配置され、第1電極との間で電位差を形成し第1電極とともに光導波路に電界を印加する。第1配線電極は、光変調器の高さ方向において第1電極に対して光導波路と反対側に配置され、第1電極に電氣的に接続される。第1配線電極は、光変調器の高さ方向に沿って見て第1電極の延在方向の端部から引き出されるように配置された配線部を含む（第1の構成）。

[0012] 第1の構成において、光導波路に対し、第1電極が光変調器の高さ方向の一方側に配置されている。この第1電極に電氣的に接続され、第1電極への電気信号の供給又は第1電極からの電気信号の取出しを行う第1配線電極は、光変調器の高さ方向に沿って見て第1電極の端部から引き出されるように配置された配線部を含み、光変調器の高さ方向において第1電極に対して光導波路と反対側に配置されている。一方、第1電極とともに光導波路に電界を印加するための第2電極は、光変調器の高さ方向において第1電極及び第1配線電極と反対側に配置される。そのため、第2電極への電気信号の供給

又は第2電極からの電気信号の取出しを行うための配線電極は、自然と第1配線電極の配線部から光変調器の高さ方向に離れることとなる。これにより、配線電極間で電界が形成されにくくなり、光導波路の光変調部以外の部分に対して余分な電界が印加されるのを防止することができる。したがって、第1の構成によれば、光変調器の大型化、特に幅方向の大型化を抑制しながら、電気的な損失を低減することができる。

[0013] 第1の構成の光変調器において、例えば、第1電極は、光変調器内に設けられたキャビティ内に配置されている（第2の構成）。この場合、キャビティを利用して第1電極を比較的自由に配置することができる。

[0014] 第2の構成の光変調器において、第1配線電極は、キャビティ内に配置され、キャビティを画定する側壁に支持されていることが好ましい（第3の構成）。

[0015] 第3の構成では、第1配線電極がキャビティを画定する側壁に支持されているため、第1配線電極の座屈を抑制することができる。例えば第1配線電極に内部応力が発生した状態で形成されており、光変調器の使用時に第1配線電極が内部応力に耐えられなくなった場合であっても、第1配線電極の座屈が生じにくくなる。そのため、光変調器の変形を抑制することができる。

[0016] 第1の構成から第3の構成のいずれか1つの光変調器において、第1配線電極は、第1電極から高さ方向に離れて配置され、一部が配線部を構成する本体部と、本体部と第1電極とを連結する連結部とを含んでいてもよい。連結部は、第1電極の延在方向に対して垂直な断面で見ると高さ方向に対して傾斜することができる（第4の構成）。

[0017] 例えば、第1電極の延在方向に対して垂直な断面で見ると、第1電極と第1配線電極の本体部とを連結する連結部が光変調器の高さ方向に平行に配置されている場合、第1電極と第1配線電極との接合部に直角のコーナ一部が形成され、このコーナ一部で高周波信号の損失が発生する。しかしながら、第4の構成では、第1電極の延在方向に対して垂直な断面で見ると、第1配線電極の連結部が光変調器の高さ方向に対して傾斜している。そのため、第1配

線電極を第1電極に対して緩やかな角度で接合することができる。これにより、第1電極と第1配線電極との接合部での高周波信号の損失を低減することができ、広帯域での変調を実現することができる。

[0018] 第1の構成から第4の構成のいずれか1つの光変調器において、第1配線電極は、第1電極から高さ方向に離れて配置され、一部が配線部を構成する本体部と、本体部と第1電極とを連結する連結部とを含んでいてもよい。連結部は、第1電極の延在方向の端部に連続する表面を含み、当該表面は、光変調器の幅方向に沿って見て、第1電極側に対して本体部側が第1電極から延在方向に離れるように、高さ方向に対して傾斜することができる（第5の構成）。

[0019] 例えば、光変調器の幅方向に沿って見て、第1電極と第1配線電極の本体部とを連結する連結部のうち、第1電極の延在方向の端部に連続する表面が光変調器の高さ方向に平行に配置されている場合、この表面が第1電極の端部との間に直角のコーナー部を形成し、このコーナー部で高周波信号の損失が発生する。しかしながら、第5の構成では、第1配線電極の連結部の表面は、光変調器の幅方向に沿って見て、第1電極側に対して本体部側が第1電極から延在方向に離れるように、光変調器の高さ方向に対して傾斜している。そのため、第1配線電極の連結部の表面を第1電極に対して緩やかな角度で連続させることができる。これにより、連結部の表面と第1電極との境界での高周波信号の損失を低減することができ、広帯域での変調を実現することができる。

[0020] 第2の構成の光変調器において、第1配線電極の少なくとも一部がキャビティ内に自立して配置されていてもよい（第6の構成）。

[0021] 例えば、光変調器において、加工によって表面荒れが生じた面上に第1配線電極が設けられている場合、第1配線電極の剥離が生じやすく、また、表面荒れに起因して電気信号の損失を招くおそれがある。これに対し、第6の構成では、第1配線電極の少なくとも一部がキャビティ内において自立している。この場合、第1配線電極の剥離は生じず、且つ表面荒れに起因する電

気信号の損失を防止することができる。

- [0022] 第1の構成から第6の構成のいずれか1つの光変調器は、さらに、第1配線電極の配線部に接続され、第1電極側から第2電極側に延びる貫通電極を備えていてもよい（第7の構成）。
- [0023] 第7の構成では、第1電極側から第2電極側へと延びる貫通電極が設けられる。貫通電極は、第1配線電極の配線部に接続される。この場合、第1電極の電気信号が第1配線電極の配線部及び貫通電極を介して第2電極側に取り出される。そのため、第1電極用の電極パッドと第2電極用の電極パッドとを同一平面内に配置することができ、電気配線を簡素化することができる。また、第1電極用及び第2電極用の電気配線を近づけることができるため、電気信号の損失を低減することができる。
- [0024] 第7の構成の光変調器において、貫通電極が、光変調器の高さ方向に対して傾斜していることが好ましい（第8の構成）。
- [0025] 例えば、貫通電極が光変調器の高さ方向に平行に配置されている場合、貫通電極と第1配線電極との接合部に直角のコナー部が形成され、このコナー部で高周波信号の損失が発生する。しかしながら、第8の構成では、貫通電極を光変調器の高さ方向に対して傾斜させている。そのため、貫通電極と第1配線電極に対して緩やかに接合することができる。これにより、貫通電極と第1配線電極との接合部での高周波信号の損失を低減することができ、広帯域での変調を実現することができる。
- [0026] 第1の構成から第8の構成のいずれか1つの光変調器では、第1電極の厚みが第1配線電極の厚みよりも大きいことが好ましい（第9の構成）。
- [0027] 第1電極は、第2電極とともに光導波路に電界を印加し、光信号の変調を行うための電極である。第9の構成では、この第1電極の厚みを第1配線電極の厚みよりも大きくしている。これにより、光変調器において光変調を行う部分での第1電極の抵抗を小さくすることができるため、電気信号の損失を低減することができる。
- [0028] 第1の構成から第9の構成のいずれか1つの光変調器において、第1電極

と第1配線電極とが接合され、第1電極と第1配線電極との界面に空隙が存在していてもよい（第10の構成）。

[0029] 第10の構成では、第1電極と第1配線電極との界面に空隙が存在している。この空隙によって電気容量を付加することができ、特性インピーダンスの調整を行うことができる。また、空隙は、電気光学材料よりも低い誘電率を有する。そのため、電気信号の実効屈折率を減少させることができ、第1電極及び第1配線電極における電気信号の損失を小さくすることができる。

[0030] 第1の構成から第9の構成のいずれか1つの光変調器において、第1電極と第1配線電極とが接合され、第1電極と第1配線電極との界面に酸素が存在していてもよい（第11の構成）。

[0031] 第11の構成では、第1電極と第1配線電極との界面に酸素が存在している。この酸素によって電気容量を付加することができ、特性インピーダンスの調整を行うことができる。また、酸素が金属と結合している場合、その誘電率は電気光学材料よりも低くなる。そのため、電気信号の実効屈折率を減少させることができ、第1電極及び第1配線電極における電気信号の損失を小さくすることができる。

[0032] 第1の構成から第9の構成のいずれか1つの光変調器において、第1電極と第1配線電極とが接合され、第1電極と第1配線電極との間に共晶が存在していてもよい（第12の構成）。

[0033] 第12の構成では、第1電極と第1配線電極との間に共晶が形成されているため、第1電極と第1配線電極との接合強度を上昇させることができる。また、第1電極と第1配線電極と間の電氣的な接続のロスを軽減することができる。

[0034] 第1の構成から第9の構成のいずれか1つの光変調器において、第1電極と第1配線電極とが接合され、第1電極と第1配線電極との界面に樹脂が存在していてもよい（第13の構成）。

[0035] 第13の構成では、第1電極と第1配線電極との界面に樹脂が存在しているため、樹脂によって電気容量を付加することができ、特性インピーダンス

の調整を行うことができる。また、樹脂は、電気光学材料よりも低い誘電率を有する。そのため、電気信号の実効屈折率を減少させることができ、第1電極及び第1配線電極における電気信号の損失を小さくすることができる。

[0036] 第1の構成から第13の構成のいずれか1つの光変調器では、光変調器の幅方向において、第1電極の長さは、光導波路の長さよりも大きいことが好ましい（第14の構成）。

[0037] 第14の構成では、第1電極の幅（光変調器の幅方向における長さ）が光導波路の幅（光変調器の幅方向における長さ）よりも大きいため、第1電極から光導波路に対して均一な電界を印加することができる。これにより、光変調器によって生成される光信号の品位を向上させることができる。

[0038] 第1の構成から第14の構成のいずれか1つの光変調器は、さらに、光導波路と第1電極との間、及び光導波路と第2電極との間の少なくとも一方に設けられ、光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備えることが好ましい（第15の構成）。

[0039] 第15の構成では、光導波路と第1電極及び／又は第2電極との間に低誘電率層が設けられている。そのため、光導波路から第1電極及び／又は第2電極に光が吸収されにくくなり、光の損失を抑制することができる。また、低誘電率層が設けられることにより、光波の実効屈折率と一致するように高周波信号の実効屈折率を調整することができるため、より高周波まで光変調を行うことができる。さらに、低誘電率層が設けられることにより、電気信号に対する実効誘電率を下げる可以降低ことができるため、高周波信号の損失を抑制でき、より高周波まで光変調を行うことができる。

[0040] 第15の構成の光変調器において、低誘電率層は、高さ方向において、光導波路から第1電極まで、及び光導波路から第1配線電極までに設けられる場合、光導波路から第1配線電極までの低誘電率層の高さ方向における長さは、光導波路から第1電極までの低誘電率層の高さ方向における長さよりも大きいことが好ましい（第16の構成）。

[0041] 第1の構成から第16の構成のいずれか1つの光変調器は、さらに、第1

電極に対して光導波路と反対側に配置され、光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率材料で形成される支持基板を備えることが好ましい（第17の構成）。

[0042] 第17の構成では、低誘電率材料で形成される支持基板が、第1電極に対して光導波路と反対側に設けられる。これにより、光波の実効屈折率と一致するように高周波信号の実効屈折率を調整することができるため、より広帯域で光変調を行うことができる。また、低誘電率材料で形成される支持基板が設けられることにより、電気信号に対する実効誘電率を減少させることができるため、高周波信号の損失を抑制でき、より高周波まで光変調を行うことができる。

[0043] 第1の構成から第17の構成のいずれか1つの光変調器は、さらに、光変調器の高さ方向において第2電極に対して光導波路と反対側に配置され、第2電極に電氣的に接続される第2配線電極を備えることができる（第18の構成）。

[0044] 第18の構成の光変調器は、さらに、第2配線電極に接続され、第2電極側から第1電極側に延びる貫通電極を備えていてもよい（第19の構成）。

[0045] 第18の構成又は第19の構成の光変調器では、第2電極の厚みが第2配線電極の厚みよりも大きいことが好ましい（第20の構成）。

[0046] 第18の構成から第20の構成のいずれか1つの構成の光変調器は、さらに、高さ方向において、光導波路から第1電極まで、及び光導波路から第1配線電極までに設けられ、光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する第1低誘電率層と、高さ方向において、光導波路から第2電極まで、及び光導波路から第2配線電極までに設けられ、光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する第2低誘電率層と、を備えることができる。この場合、光導波路から第1配線電極までの第1低誘電率層の高さ方向における長さは、光導波路から第1電極までの第1低誘電率層の高さ方向における長さよりも大きく、光導波路から第2配線電極までの第2低誘電率層の高さ方向における長さは、光導波路から第2電極までの第2低誘電率層の高さ方向における長さよ

りも大きいことが好ましい（第21の構成）。

[0047] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しつつ説明する。各図において同一又は相当の構成については同一符号を付し、重複する説明を繰り返さない。

[0048] <第1実施形態>

[光変調器の構成]

図1は、第1実施形態に係る光変調器100の平面図である。図1を参照して、本実施形態の例では、光変調器100は、いわゆるマッハツェンダ型の光変調器である。光変調器100は、光導波路1と、第1電極2R、2Lと、第2電極3と、第1配線電極4IR、4IL、4OR、4OLとを備える。図1には、光変調器100の高さ方向HDに対して垂直な平面に投影されたときの光導波路1、第1電極2R、2L、第2電極3、及び第1配線電極4IR、4IL、4OR、4OLが示される。図1では、第2電極3を一点鎖線で示し、第1配線電極4IR、4IL、4OR、4OLを破線で示している。本明細書において、高さ方向HDは、積層構造を有する光変調器100の各要素の積層方向を意味する。光導波路1が実質的に延在する方向であって高さ方向HDに垂直な方向を光変調器100の長手方向LDと定義する。高さ方向HD及び長手方向LDに垂直な方向は、光変調器100の幅方向WDである。

[0049] 光導波路1は、光の伝送路として機能する。光導波路1は、光の入側となる入側光導波路11と、入側光導波路11から分岐した2つの分岐光導波路12R、12Lと、2つの分岐光導波路12R、12Lが集合して光の出側となる出側光導波路13とを含む。入側光導波路11及び出側光導波路13は、例えば、長手方向LDに沿って直線状に延びている。分岐光導波路12R、12Lは、入側中継部121R、121Lと、直線部122R、122Lと、出側中継部123R、123Lとを含む。直線部122R、122Lは、幅方向WDに並んで配置されている。直線部122R、122Lは、入側中継部121R、121Lによって入側光導波路11に接続されている。

直線部 1 2 2 R, 1 2 2 L は、出側中継部 1 2 3 R, 1 2 3 L によって出側光導波路 1 3 に接続されている。

[0050] 第 1 電極 2 R, 2 L は、光導波路 1 の一部に沿って延在する。より具体的には、第 1 電極 2 R, 2 L は、それぞれ分岐光導波路 1 2 R, 1 2 L のうち直線部 1 2 2 R, 1 2 2 L に沿って延在している。第 1 電極 2 R, 2 L は、例えば、高さ方向 H D に沿って見て、それぞれ分岐光導波路 1 2 R, 1 2 L の直線部 1 2 2 R, 1 2 2 L と重なるように配置されている。

[0051] 第 2 電極 3 は、高さ方向 H D に沿って見て、その少なくとも一部が光導波路 1 及び第 1 電極 2 R, 2 L と重複するように配置されている。第 2 電極 3 は、例えば、高さ方向 H D に沿って見て、分岐光導波路 1 2 R, 1 2 L の直線部 1 2 2 R, 1 2 2 L と重なっている。

[0052] 第 2 電極 3 は、第 1 電極 2 R, 2 L の各々との間に電位差を形成し、第 1 電極 2 R, 2 L とともに光導波路 1 に電界を印加する。第 1 電極 2 R, 2 L 及び第 2 電極 3 は、例えば、光導波路 1 を通過する光を制御するための制御電極として機能する。第 1 電極 2 R 及び第 2 電極 3 は、分岐光導波路 1 2 R に電界を印加できるように配置されている。第 1 電極 2 L 及び第 2 電極 3 は、分岐光導波路 1 2 L に電界を印加できるように配置されている。直線部 1 2 2 R, 1 2 2 L は、光導波路 1 の実質的な光変調部である。例えば、第 1 電極 2 R, 2 L を信号電極とし、第 2 電極 3 をグランド電極とすることができ、あるいは、第 1 電極 2 R, 2 L をグランド電極とし、第 2 電極 3 を信号電極としてもよい。

[0053] 第 1 配線電極 4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O L は、第 1 電極 2 R, 2 L に電気信号を供給、又は第 1 電極 2 R, 2 L から電気信号を取り出す目的で光変調器 1 0 0 に配置されている。第 1 配線電極 4 I R, 4 O R は、第 1 電極 2 R に電氣的に接続されている。第 1 配線電極 4 I L, 4 O L は、第 1 電極 2 L に電氣的に接続されている。第 1 配線電極 4 I R, 4 I L は、第 1 電極 2 R, 2 L の入側に配置され、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L は、第 1 電極 2 R, 2 L の出側に配置されている。本実施形態の例では、第 1 配線電極 4 I

L, 4OLは、高さ方向HDに沿って見て、一方の第1電極2Lから幅方向WDに突出している。具体的には、第1配線電極4ILは配線部4aILを含む。この配線部4aILは、高さ方向HDに沿って見て、第1電極2Lの延在方向の一方の端部2aLから引き出されるように配置されている。第1配線電極4OLは配線部4aOLを含む。この配線部4aOLは、高さ方向HDに沿って見て、第1電極2Lの延在方向の他方の端部2bLから引き出されるように配置されている。第1配線電極4IR, 4ORも、高さ方向HDに沿って見て、他方の第1電極2Rから幅方向WDに突出している。具体的には、第1配線電極4IRは配線部4aIRを含む。この配線部4aIRは、高さ方向HDに沿って見て、第1電極2Rの延在方向の一方の端部2aRから引き出されるように配置されている。第1配線電極4ORは配線部4aORを含む。この配線部4aORは、高さ方向HDに沿って見て、第1電極2Rの延在方向の他方の端部2bRから引き出されるように配置されている。

[0054] 次に、図2A～図2Fを参照して、図1に示す光変調器100のより具体的な構成を説明する。図2Aは、図1の線IIA-IIAにおける断面図である。言い換えると、図2Aは、分岐光導波路12R, 12Lの直線部122R, 122L（光導波路1の光変調部）の位置において光変調器100を長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面図（横断面図）である。

[0055] 図2Aを参照して、光導波路1は、電気光学効果を有する。本実施形態の例では、光導波路1がベース層15に形成されている。本実施形態の例において、光導波路1は、ベース層15の表面から突出している。すなわち、光導波路1は、リッジ型の光導波路である。ただし、光導波路1は、必ずしもリッジ型の光導波路である必要はない。光導波路1は、図2Aに示すように実質的に台形状の断面を有していてもよいが、矩形状等の他の形状の断面を有することもできる。

[0056] 光導波路1は電気光学材料で形成される。電気光学材料として、LiNb

O_3 （ニオブ酸リチウム）、 LiTaO_3 （タンタル酸リチウム）、 PLZT （ジルコン酸チタン酸鉛ランタン）、 KTN （タンタル酸ニオブ酸カリウム）、又は BaTiO_3 （チタン酸バリウム）等が用いられる。電気光学材料として、電気光学ポリマー（EOポリマー）が用いられてもよい。ベース層15は、光導波路1と同様の電気光学材料で形成されていてもよい。ただし、光変調器100において、ベース層15を省略することもできる。

[0057] 第1電極2R, 2Lは、光導波路1に対して光変調器100の高さ方向HDの一方側に配置されている。すなわち、高さ方向HDにおける第1電極2R, 2Lの中心C2が、光変調器100の高さ方向HDにおける光導波路1（分岐光導波路12R, 12L）の中心C1から高さ方向HDの一方側に位置している。本実施形態の例では、第1電極2R, 2Lの全体が光導波路1に対して高さ方向HDの一方側に配置されている。第1電極2Rは、分岐光導波路12Rに対して高さ方向HDの一方側に積層されている。第1電極2Lは、分岐光導波路12Lに対して高さ方向HDの一方側に積層されている。本実施形態において、第1電極2R, 2Lは、実質的に矩形状の断面を有している。ただし、第1電極2R, 2Lの断面形状は、これに限定されるものではない。

[0058] 第1電極2R, 2Lの幅w2は、光導波路1の幅w1よりも大きいことが好ましい。しかしながら、第1電極2R, 2Lの幅w2は、光導波路1の幅w1以下であってもよい。第1電極2R, 2Lの幅w2は、幅方向WDにおける第1電極2R, 2Lの最大長さである。光導波路1の幅w1は、光導波路1のうち第1電極2R, 2Lのそれぞれに対応する部分の幅方向WDにおける最大長さである。本実施形態において、幅w1は、分岐光導波路12R, 12Lの各々の幅方向WDにおける最大長さである。

[0059] 第1配線電極4OR, 4OLは、高さ方向HDにおいて第1電極2R, 2Lに対して光導波路1と反対側に配置されている。第1配線電極4ORは、本体部41Rと、連結部42Rとを含む。第1配線電極4OLは、本体部41Lと、連結部42Lとを含む。

[0060] 本体部41Rは、第1電極2Rから高さ方向HDに離れて配置されている。本体部41Lは、第1電極2Lから高さ方向HDに離れて配置されている。本体部41R、41Lは、光変調器100の横断面視で、例えば第1電極2R、2Lの直下に配置される。本体部41R、41Lは、それぞれ、第1電極2R、2Lと高さ方向HDに隙間を空けて対向している。連結部42Rは、本体部41Rと第1電極2Rとを連結する。連結部42Lは、本体部41Lと第1電極2Lとを連結する。連結部42Rは、例えば、本体部41R及び第1電極2Rの幅方向WD外側の端部同士を連結していてもよい。同様に、連結部42Lは、本体部41L及び第1電極2Lの幅方向WD外側の端部同士を連結していてもよい。連結部42R、42Lは、光変調器100の横断面視で、本体部41R、41Lから第1電極2R、2Lに向かって延在している。

[0061] 本実施形態において、本体部41R、41L及び連結部42R、42Lは、実質的に矩形の断面を有している。ただし、第1電極2R、2Lの断面形状は、これに限定されるものではない。

[0062] 光変調器100は、さらに支持基板6を備えることができる。支持基板6は、光導波路1、第1電極2R、2L、第2電極3、及び第1配線電極4OR、4OLを支持している。支持基板6として、半導体材料を用いることができる。半導体材料として、Si（シリコン）、若しくはGe（ゲルマニウム）等の単元素半導体、又はGaAs（ガリウム砒素）等の化合物半導体が用いられる。支持基板6として、SiO₂、Al₂O₃、LaAlO₃、LaYO₃、ZnO、HfO₂、MgO、Y₂O₃等の酸化物が用いられてもよい。あるいは、支持基板6として、電気光学材料、具体的には、LiNbO₃、LiTaO₃、PLZT、KTN、又はBaTiO₃等が用いられてもよい。

[0063] 本実施形態の例では、光変調器100内にキャビティCが設けられている。キャビティCは、支持基板6と光導波路1との間に形成されている。本実施形態において、キャビティCは、光変調器100の横断面視で閉空間となっている。キャビティCは、例えば、支持基板6に設けられた凹部61と、

ベース層 15 とによって形成することができる。具体的には、凹部 61 の側壁 61a, 61a 及び底壁 61b と、ベース層 15 とによってキャビティ C が画定される。第 1 電極 2R, 2L 及び第 1 配線電極 4OR, 4OL は、このキャビティ C 内に配置されている。第 1 配線電極 4OR, 4OL は、側壁 61a, 61a に支持されている。より具体的には、第 1 配線電極 4OR の連結部 42R が一方の側壁 61a に沿って設けられ、第 1 配線電極 4OL の連結部 42L が他方の側壁 61a に沿って設けられている。また、第 1 配線電極 4OR, 4OL の本体部 41R, 41L が底壁 61b に沿って設けられている。

[0064] 第 2 電極 3 は、光導波路 1 に対して光変調器 100 高さ方向 HD の他方側（第 1 電極 2R, 2L と反対側）に配置されている。すなわち、光変調器 100 の高さ方向 HD における第 2 電極 3 の中心 C3 が、光導波路 1 の中心 C1 から高さ方向 HD の他方側に位置している。本実施形態の例では、第 2 電極 3 は、高さ方向 HD において第 1 電極 2R, 2L の反対側で光導波路 1 に積層されている。より具体的には、第 2 電極 3 は、第 1 電極 2R, 2L の反対側で、それぞれ分岐光導波路 12R, 12L 上に積層されている。第 2 電極 3 は、第 1 電極 2R, 2L との間に分岐光導波路 12R, 12L が位置づけられるように、分岐光導波路 12R, 12L に対して第 1 電極 2R, 2L の反対側に配置される。

[0065] 本実施形態の例では、第 2 電極 3 は、2 つの分岐光導波路 12R, 12L に対して共通で設けられている。ただし、第 2 電極 3 は、分岐光導波路 12R, 12L のそれぞれに対して設けられていてもよい。

[0066] 図 2B 及び図 2C は、それぞれ、図 1 の線 I-I B-I B 及び線 I-I C-I-I C における断面図である。図 2B は、分岐光導波路 12R, 12L の出側中継部 123R, 123L の位置において光変調器 100 を長手方向 LD に対して垂直な面で切断したときの断面図である。図 2C は、分岐光導波路 12R, 12L の出側中継部 123R, 123L のうち図 2B に示す断面よりも出側光導波路 13 寄りの位置において光変調器 100 を長手方向 LD に

対して垂直な面で切断したときの断面図である。

[0067] 図2Bを参照して、光導波路1のうち光変調部よりも出側の位置には、第2電極3が存在しない。図2Cを参照して、より出側に近い位置になると、第2電極3に加え、第1電極2R、2L及び第1配線電極4OR、4OLの連結部42R、42Lも存在しなくなる。そのため、光導波路1の光変調部以外の部分には、第1電極2R、2L及び第2電極3による電界が実質的に印加されない。また、第1配線電極4OR、4OLの本体部41R、41Lは光導波路1から高さ方向HDに離隔しているため、光導波路1の光変調部以外の部分には、第1配線電極4OR、4OLの電界の影響も実質的に生じない。この位置での第1配線電極4OR、4OLの本体部41R、41Lは、高さ方向HDに沿って見て第1電極2R、2Lから引き出されるように配置された部分であり、配線部4aOLを構成している。

[0068] 図2Dは、図1の線II D-II Dにおける断面図である。言い換えると、図2Dは、第1電極2R、2Lから幅方向WDに引き出された第1配線電極4OR、4OLを幅方向WDに対して垂直な面で切断したときの断面図である。

[0069] 図2Dを参照して、第1配線電極4OR、4OLのうち第1電極2R、2Lから幅方向WDに引き出された部分の断面では、第1電極2R、2L、第2電極3、及び第1配線電極4OR、4OLの連結部42R、42Lが存在せず、第1配線電極4OR、4OLの本体部41R、41Lが存在する。この位置での第1配線電極4OR、4OLの本体部41R、41Lは、高さ方向HDに沿って見て第1電極2R、2Lから引き出されるように配置された部分であり、配線部4aOLを構成している。

[0070] 図2Eは、図1の線II E-II Eにおける断面図である。言い換えると、図2Eは、光変調器100を幅方向WDに対して垂直な面で切断したときの断面図であって、第1電極2R及び第1配線電極4ORを幅方向WDに沿って見た図である。図2Eには、図1の線II A-II A、線II B-II B、及び線II C-II Cも示されている。

[0071] 図2Eを参照して、第1配線電極4ORの連結部42Rは、第1電極2Rの延在方向（長手方向LD）の端部に連続する表面42aを含む。表面42aは、幅方向WDに沿って見て、第1電極2R側に対して第1配線電極4ORの本体部41R側が第1電極2Rから延在方向に離れるように、高さ方向HDに対して傾斜している。幅方向WDに沿って見て、連結部42Rの表面42aは、直線状であってもよいし、曲線状であってもよい。

[0072] 図示を省略するが、第1配線電極4OLの連結部42Lも、第1配線電極4ORの連結部42Rと同様の構成を有することができる。すなわち、連結部42Lのうち、第1電極2Lの延在方向の端部に連続する表面は、第1電極2L側に対して第1配線電極4OLの本体部41L側が第1電極2Lから延在方向に離れるように、高さ方向HDに対して傾斜していてもよい。

[0073] 図2Fは、第1電極2L及び第1配線電極4OLの一部を拡大した断面図である。図2Fを参照して、第1電極2Lは第1配線電極4OLと接合されている。より具体的には、第1電極2Lは、第1配線電極4OLの連結部42Lと接合されている。第1電極2Lと第1配線電極4OLとが接合されている場合、第1電極2Lと第1配線電極4OLとの界面には微細な空隙Vが存在してもよい。また、第1電極2Lと第1配線電極4OLとの界面には、酸素が存在してもよい。この酸素は、例えば酸化物の酸素分である。この場合、第1電極2Lと第1配線電極4OLとの界面に存在する酸素は、第1電極2Lの内部及び第1配線電極4OLの内部よりも、例えば1質量%以上高い。また、第1電極2Lと第1配線電極4OLとの間に、共晶が存在してもよい。この共晶は、金属の共晶反応を利用して第1電極2Lと第1配線電極4OLとを接合したときに生じる。また、第1電極2Lと第1配線電極4OLとの界面には、樹脂が存在してもよい。この樹脂は、例えば導電性樹脂である。第1電極2Lと連結部42Lとの間に、空隙、酸素、共晶、及び樹脂のいずれが存在する場合であって、第1電極2Lと連結部42Lとの電氣的な接続は確保される。

[0074] 図示を省略するが、第1電極2Rと第1配線電極4ORとの界面にも、空

隙、酸素、又は樹脂が存在してもよい。あるいは、第1電極2Rと第1配線電極4ORとの間に共晶が存在してもよい。

[0075] 図2A～図2Fでは、主に光変調器100の出側の構成を示している。光変調器100は、入側についても出側と同様の構成を有することができる。そのため、入側については、具体的な構成の説明を省略する。

[0076] [光変調器100の製造方法]

以下、光変調器100の製造方法の一例を説明する。図3A～図3Eは、光変調器100の製造方法の一例を説明する模式図である。図3Aに示すように、支持基板6と、電気光学材料基板16とを準備する。

[0077] 次に、図3Bに示すように、支持基板6に対し、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等により、凹部61を形成する。この凹部61がキャビティCとなる。一方、電気光学材料基板16に対し、リソグラフィ等によるパターニングを施した後、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等により、光導波路1を有するベース層15を形成する。

[0078] 次に、図3Cに示すように、凹部61が形成された支持基板6に対し、電極を成膜した後、リソグラフィ等によるパターニング等を施すことにより、凹部61内に第1配線電極4OR、4OLを形成する。一方、光導波路1を有するベース層15に対し、電極を成膜した後、リソグラフィ等によるパターニング等を施すことにより、ベース層15の表面に第1電極2R、2Lを形成する。

[0079] 次に、図3Dに示すように、ベース層15の第1電極2R、2Lを支持基板6の第1配線電極4OR、4OLに貼り合わせる。貼り合わせは、金属を用いた接合、又は導電性樹脂を用いた接合等により行う。

[0080] そして、図3Eに示すように、光導波路1を有するベース層15に対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により、第2電極3を形成する。このような方法により、キャビティCを有する光変調器100を製造することができる。

[0081] 図4A～図4Gは、光変調器100の製造方法の他の一例を説明する模式

図である。図4 Aに示すように、準備した支持基板6に対し、上記図3 B及び図3 Cに示した方法と同様の方法により、凹部6 1を形成し、凹部6 1内に第1配線電極4 O R, 4 O Lを形成する。

[0082] 次に、図4 Bに示すように、第1配線電極4 O R, 4 O Lが形成された凹部6 1に犠牲層7 0を充填する。犠牲層7 0の充填は、CVD、蒸着、スパッタリング、スピコート等により行うことができる。

[0083] 次に、図4 Cに示すように、犠牲層7 0が充填された支持基板6に対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により、第1電極2 R, 2 Lを形成する。

[0084] 次に、図4 Dに示すように、第1電極2 R, 2 Lが形成された支持基板6に電気光学材料基板1 6を貼り合わせる。貼り合わせは、金属を用いた接合、又は導電性樹脂を用いた接合等により行うことができる。電気光学材料基板1 6の貼り合わせに代えて、第1電極2 R, 2 Lが形成された支持基板6に対し、エピタキシャル成膜、スピコート等により、電気光学材料を成膜してもよい。

[0085] 次に、図4 Eに示すように、電気光学材料基板1 6に対し、リソグラフィ等によるパターンニングを施した後、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等により、光導波路1を有するベース層1 5を形成する。

[0086] 次に、図4 Fに示すように、光導波路1を有するベース層1 5に対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により、第2電極3を形成する。

[0087] そして、図4 Gに示すように、第2電極3が形成されたベース層1 5に対し、ドライエッチング、ウェットエッチング等により、犠牲層7 0を除去する。このような方法により、キャビティCを有する光変調器1 0 0を製造することができる。

[0088] 図5 A～図5 Fは、光変調器1 0 0の製造方法の他の一例を説明する模式図である。図5 Aに示すように、キャビティCを有するC-SOI (Cavity Silicon On Insulator) 1 0を準備する。さ

らに、光導波路 1 を有するベース層 15 を準備する。上記図 3 C に示した方法と同様の方法により、ベース層 15 の表面に第 1 電極 2 R, 2 L を形成する。

[0089] 次に、図 5 B に示すように、C-SO₂にベース層 15 を貼り合わせる。貼り合わせは、金属を用いた接合、又は導電性樹脂を用いた接合等により行うことができる。ただし、ベース層 15 を貼り合わせることに代えて、C-SO₂に直接第 1 電極 2 R, 2 L を形成し、その表面に対し、エピタキシャル成膜、スピンコート等により、電気光学材料を成膜してもよい。

[0090] 次に、図 5 C に示すように、C-SO₂の裏面に対し、ドライエッチング、ウェットエッチングを施す。これにより、キャビティ C が開口する。開口したキャビティ C に対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L を形成する。

[0091] 次に、図 5 D に示すように、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L が形成されたキャビティ C に犠牲層 70 を充填する。犠牲層 70 の充填は、CVD、蒸着、スパッタリング、スピンコート等により行うことができる。

[0092] 次に、図 5 E に示すように、犠牲層 70 の表面に対し、封止用の膜 71 を形成する。この膜 71 の形成は、スパッタリング、CVD、蒸着等により行うことができる。

[0093] 次に、図 5 F に示すように、犠牲層 70 を除去する。犠牲層 70 の除去は、ドライエッチング、ウェットエッチング等により行うことができる。そして、上記図 3 E に示した方法と同様の方法により、光導波路 1 を有するベース層 15 に対し、第 2 電極 3 を形成する。このような方法により、キャビティ C を有する光変調器 100 を製造することができる。

[0094] 図 6 A ~ 図 6 G は、光変調器 100 の製造方法の他の一例を説明する模式図である。図 6 A に示すように、第 2 電極 3、光導波路 1 を有するベース層 15、及び第 1 電極 2 R, 2 L がこの順に積層された支持基板 6 を準備する。

[0095] 次に、図 6 B に示すように、第 1 電極 2 R, 2 L 上に、犠牲層 70 を積層

する。犠牲層 70 の積層は、CVD、蒸着、スパッタリング、スピンコート等により行うことができる。

[0096] 次に、図 6 C に示すように、犠牲層 70 に対し、第 1 電極 2 R, 2 L に達するスルーホール 72, 72 を形成する。スルーホール 72, 72 の形成は、リソグラフィ等によるパターニングを施した後、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等により行うことができる。

[0097] 次に、図 6 D 及び図 6 E に示すように、スルーホール 72, 72 に対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L を形成する。

[0098] 次に、図 6 F に示すように、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L に対し、封止用の膜を形成する。この膜の形成は、スパッタリング、CVD、蒸着等により行うことができる。

[0099] 次に、図 6 G に示すように、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L の内側にある犠牲層 70 を除去する。犠牲層 70 の除去方法としては、上述した方法を用いることができる。このような方法により、キャビティ C を有する光変調器 100 を製造することができる。

[0100] [効果]

本実施形態に係る光変調器 100 において、光導波路 1 に対し、第 1 電極 2 R, 2 L が光変調器 100 の高さ方向 HD の一方側に配置されている。第 1 電極 2 R, 2 L への電気信号の供給又は第 1 電極 2 R, 2 L からの電気信号の取出しを行う第 1 配線電極 4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O L は、高さ方向 HD に沿って見て第 1 電極 2 R, 2 L の端部 2 a R, 2 a L, 2 b R, 2 b L から引き出されるように配置された配線部 4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O L を含み、高さ方向 HD において第 1 電極 2 R, 2 L に対して光導波路 1 と反対側に配置されている。一方、第 1 電極 2 R, 2 L とともに光導波路 1 に電界を印加するための第 2 電極 3 は、光変調器 100 の高さ方向 HD において第 1 電極 2 R, 2 L 及び第 1 配線電極 4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O L と反対側に配置される。そのため、第 2 電極 3 への電気信号の供給

又は第2電極3からの電気信号の取出しを行うための配線電極は、自然と第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lの配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lから光変調器100の高さ方向HDに離れることとなる。これにより、配線電極間で電界が形成されにくくなり、特に光導波路1の光変調部以外の部分に対して余分な電界が生じるのを抑制することができる。したがって、光変調器100の大型化、特に幅方向の大型化を抑制しながら、電氣的な損失を低減することができる。

[0101] 本実施形態に係る光変調器100では、第1電極2 R, 2 LがキャビティC内に設けられている。キャビティCは、光変調器100の高さ方向HDにおいて光導波路1の第1電極2 R, 2 L側に配置され、第1電極2 R, 2 Lを収容している。この場合、キャビティCを利用して、第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lを比較的自由に配置することができる。

[0102] 本実施形態では、第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lは光変調器100の高さ方向HDにおいて第1電極2 R, 2 Lに対して光導波路1と反対側に配置されているため、光変調器100の高さ方向HDに沿って見て、仮に第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lの配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lが光導波路1を横切るような場合であっても、配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lを光導波路1から光変調器100の高さ方向HDに離れた位置に配置することが可能となる。この場合、第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lの配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lから光導波路1に余計な電界が印加されないため、生成される信号のノイズを低減することができる。また、光導波路1から配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lへの光の吸収を低減することができるため、光導波路1を通過する光の減損が少なくなり、光導波路1に光波を供給するレーザの出力を抑えることができる。そのため、電力の消費量を低減することができる。

[0103] 本実施形態では、第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lの配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lは、第1電極2 R, 2 Lから幅方

向WDの一方側に引き出され、光変調器100の平面視で並列に配置されている。この場合、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lを広く引き回す必要がない。そのため、電気信号のロスが低減し、且つフットプリントを節約することができる。また、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lの配線部4a1R, 4a1L, 4a0R, 4a0Lが並列に配置されることにより、配線部4a1R, 4a1L, 4a0R, 4a0Lとデジタルシグナルプロセッサやドライバ等との電氣的な接続を簡素化することができる。

[0104] 本実施形態において、光導波路1に電界を印加する目的ではない第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lは、光導波路1から高さ方向HDに離れている。そのため、光導波路1に対する第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lの影響が実質的に生じず、第1電極2L, 2R及び第2電極3によって分岐光導波路12L, 12Rに均等に電界を印加することができる。これにより、電圧のON/OFF時に光導波路1から漏れ出す光の量を少なくすることができ、光変調器100の消光比を向上させることができる。

[0105] 例えば光変調器100において、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lに成膜や接合等に起因する内部応力が発生した状態で光変調器100が形成されており、光変調器100の使用時に第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lが内部応力に耐えられなくなった場合、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lの座屈が生じるおそれがある。第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lの座屈が生じると、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lとともに第1電極2R, 2Lが座屈し、その結果、光変調器100全体が変形する。本実施形態では、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lが側壁61a, 61aに支持されているため、第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lの座屈を抑制することができる。その結果、光変調器100の変形を抑制することができる。

[0106] 例えば、光変調器100の幅方向WDに沿って見て、第1電極2R, 2Lと第1配線電極41R, 41L, 40R, 40Lの本体部41R, 41Lと

を連結する連結部42R、42Lのうち、第1電極2R、2Lの延在方向の端部に連続する表面42aが光変調器100の高さ方向HDに平行に配置されている場合、この表面42aが第1電極2Rの端部との間に直角のコーナ一部を形成し、このコーナ一部で高周波信号の損失が発生する。しかしながら、本実施形態では、第1配線電極40Rの連結部42Rの表面42aは、光変調器100の幅方向WDに沿って見て、第1電極2R、2L側に対して本体部41R、41L側が第1電極2R、2Lから延在方向に離れるように、高さ方向HDに対して傾斜している。そのため、第1配線電極40R、40Lの連結部42R、42Lの表面42aを第1電極2R、2Lに対して緩やかな角度で連続させることができる。これにより、連結部42R、42Lの表面42aと第1電極2R、2Lとの境界での高周波信号の損失を低減することができる。その結果、広帯域での変調を実現することができる。

[0107] 本実施形態に係る光変調器100において、第1電極2R、2Lと第1配線電極40R、40Lとが接合されている場合、第1電極2R、2Lと連結部42R、42Lとの界面に微細な空隙Vが存在してもよい。この場合、空隙Vによって電気容量を付加することができる。そのため、特性インピーダンスの調整を行うことができる。また、空隙Vは、電気光学材料よりも低い誘電率を有するため、電気信号の実効屈折率を減少させることができ、第1電極2R、2L及び第1配線電極40R、40Lにおける電気信号の損失を小さくすることができる。

[0108] 第1電極2R、2Lと第1配線電極40R、40Lとが接合されている場合、第1電極2R、2Lと連結部42R、42Lとの界面に酸素が存在してもよい。この場合、酸素によって電気容量を付加することができる。そのため、特性インピーダンスの調整を行うことができる。また、酸素が金属と結合して酸化物として存在している場合、その誘電率は電気光学材料よりも低くなる。そのため、電気信号の実効屈折率を減少させることができ、第1電極2R、2L及び第1配線電極40R、40Lにおける電気信号の損失を小さくすることができる。

[0109] 第1電極2R, 2Lと第1配線電極4OR, 4OLとが接合されている場合、第1電極2R, 2Lと連結部42R, 42Lとの間に、共晶が存在してもよい。この場合、第1電極2R, 2Lと第1配線電極4OR, 4OLとの接合強度を上昇させることができる。また、第1電極2R, 2Lと第1配線電極4OR, 4OLとの間で電氣的な接続のロスを軽減することができる。

[0110] 第1電極2R, 2Lと第1配線電極4OR, 4OLとが接合されている場合、第1電極2R, 2Lと連結部42R, 42Lとの界面に樹脂が存在してもよい。この場合、樹脂によって電気容量を付加することができる。そのため、特性インピーダンスの調整を行うことができる。また、樹脂は、電気光学材料よりも低い誘電率を有する。そのため、電気信号の実効屈折率を減少させることができ、第1電極2R, 2L及び第1配線電極4OR, 4OLにおける電気信号の損失を小さくすることができる。

[0111] 本実施形態では、第1電極2R, 2Lの幅 w_2 は、光導波路1の幅 w_1 よりも大きいことが好ましい。この場合、光導波路1に対して均一な電界を印加することができる。したがって、生成される光信号の品位が向上する。

[0112] 本実施形態に係る光変調器100は、支持基板6を備えることができる。支持基板6は、第1電極2R, 2Lに対して光導波路1と反対側に配置される。支持基板6は、光導波路1の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率材料で形成されることが好ましい。これにより、光波の実効屈折率と一致するように高周波信号の実効屈折率を調整することができる。そのため、より広帯域で光変調を行うことができる。また、電気信号に対する実効誘電率を減少させることができるため、高周波信号の損失を抑制でき、より高周波まで光変調を行うことができる。

[0113] <第2実施形態>

図7を参照して、第2実施形態に係る光変調器100Aの構成を説明する。図7は、第2実施形態に係る光変調器100Aの構成を示す模式図であり、図2Aに相当する断面図である。言い換えると、図7は、分岐光導波路12R, 12Lの直線部122R, 122Lの位置において光変調器100A

を長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面図である。光変調器100Aは、第1配線電極4OR、4OLの連結部42R、42Lの構成において第1実施形態に係る光変調器100と異なる。

[0114] 図7に示すように、第1電極2R、2Lの延在方向（長手方向LD）に対して垂直な断面で見て、第1配線電極4OR、4OLの連結部42R、42Lは、光変調器100Aの高さ方向HDに対して傾斜している。連結部42R、42Lは、本体部41R、41Lに近づくにつれて幅方向WDの内側に向かうように高さ方向HDに対して傾斜する。連結部42R、42Lは、キャビティCを画定する側壁61a、61aに沿って設けられている。この側壁61a、61aの表面も、連結部42R、42Lと同様に傾斜している。

[0115] 本実施形態に係る光変調器100Aでは、長手方向LDに対して垂直な断面で見て、連結部42R、42Lは、高さ方向HDに対して傾斜している。そのため、第1配線電極4OR、4OLを第1電極2R、2Lに対して緩やかな角度 θ で接合することができる。これにより、第1電極2R、2Lと第1配線電極4OR、4OLとの接合部での高周波信号の損失を低減することができ、広帯域での変調を実現することができる。

[0116] <第3実施形態>

図8及び図9を参照して、第3実施形態に係る光変調器100Bの構成を説明する。図8は、図2Aに相当する断面図である。言い換えると、図8は、分岐光導波路12R、12Lの直線部122R、122L（光導波路1の光変調部）の位置において光変調器100Bを長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面図である。図9は、図2Eに相当する断面図である。言い換えると、図9は、光変調器100Bを幅方向WDに対して垂直な面で切断したときの断面図であって、第1電極2R、2L及び第1配線電極4OR、4OLを幅方向WDに沿って見た図である。光変調器100Bは、第1配線電極4OR、4OLの構成において第1実施形態に係る光変調器100と異なる。

[0117] 図8及び図9に示すように、光導波路1の光変調部の位置の断面では、第

1 配線電極 4 O R, 4 O L が存在しない。第 1 配線電極 4 O R, 4 O L は、第 1 電極 2 R, 2 L の延在方向の端部にのみ接続されている。第 1 配線電極 4 O R の連結部 4 2 R は、上記第 1 実施形態と同様に、第 1 電極 2 R の延在方向（長手方向 L D）の端部に連続する表面 4 2 a を含む。また、本実施形態の場合、幅方向 W D に沿って見、第 1 配線電極 4 O R の連結部 4 2 R のうち表面 4 2 a の反対側の面も、表面 4 2 a と同様に、高さ方向 H D に対して傾斜している。したがって、第 3 実施形態と同様に、連結部 4 2 R, 4 2 L の表面 4 2 a と第 1 電極 2 R, 2 L との境界での高周波信号の損失を低減することができる。

[0118] <第 4 実施形態>

図 1 0 及び図 1 1 を参照して、第 4 実施形態に係る光変調器 1 0 0 C の構成を説明する。図 1 0 は、第 4 実施形態に係る光変調器 1 0 0 C の平面図である。図 1 1 は、第 4 実施形態に係る光変調器 1 0 0 C の構成を示す断面図である。光変調器 1 0 0 C は、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L の構成において第 1 実施形態に係る光変調器 1 0 0 と異なる。

[0119] 図 1 0 及び図 1 1 に示すように、第 1 電極 2 R, 2 L は、分岐光導波路 1 2 R, 1 2 L のうち直線部 1 2 2 R, 1 2 2 L の領域に設けられている。第 1 電極 2 R, 2 L 及び第 1 配線電極 4 O R, 4 O L は、キャビティ C 内に配置されている。第 1 配線電極 4 O R, 4 O L の少なくとも一部は、キャビティ C 内において自立している。より具体的には、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L の連結部 4 2 R, 4 2 L がキャビティ C 内で自立している。具体的には、連結部 4 2 R, 4 2 L は、キャビティ C を画定する側壁 6 1 a, 6 1 a から離れた位置に配置され、側壁 6 1 a, 6 1 a と接触していない。一方、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L の本体部 4 1 R, 4 1 L は、キャビティ C を画定する底壁 6 1 b に沿って設けられている。

[0120] 本実施形態に係る光変調器 1 0 0 C では、第 1 配線電極 4 O R, 4 O L の連結部 4 2 R, 4 2 L がキャビティ C 内に自立して配置されている。連結部 4 2 R, 4 2 L は、キャビティ C の側壁 6 1 a, 6 1 a と接していない。そ

のため、側壁61a、61aの表面が例えば加工によって荒れていたとしても、第1配線電極4OR、4OLに影響しない。すなわち、側壁61a、61aから第1配線電極4OR、4OLが剥離することはない、且つ表面荒れに起因する電気信号の損失も生じない。

[0121] <第5実施形態>

図12を参照して、第5実施形態に係る光変調器100Dの構成を説明する。図12は、第5実施形態に係る光変調器100Dの構成を示す断面図である。光変調器100Dは、第1配線電極4OR、4OLの構成において第4実施形態に係る光変調器100Cと異なる。

[0122] 図12に示すように、第1配線電極4OR、4OLの本体部41R、41Lは、キャビティCの外に配置されている。第1配線電極4OR、4OLの連結部42R、42Lは、キャビティCを画定する底壁61bを貫通し、本体部41R、41Lに接続されている。連結部42R、42Lの一部は、キャビティC内において自立している。したがって、第5実施形態に係る光変調器100Dは、上記第4実施形態に係る光変調器100Cと同様の効果を奏する。

[0123] <第6実施形態>

図13及び図14を参照して、第6実施形態に係る光変調器100Eの構成を説明する。図13は、第6実施形態に係る光変調器100Eの平面図である。図14は、図13の線XⅠV-XⅠVにおける断面図である。言い換えると、図14は、第1電極2Lから幅方向WDに引き出された第1配線電極4OLを長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面と、分岐光導波路12R、12Lの直線部122R、122Lの位置において光変調器100Eを長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面を示している。光変調器100Eは、貫通電極8ⅠR、8ⅠL、8OR、8OLを備える点において第1実施形態に係る光変調器100と異なる。

[0124] 図13及び図14に示すように、光変調器100Eは、貫通電極8ⅠR、8ⅠL、8OR、8OLを備える。貫通電極8ⅠR、8ⅠL、8OR、8O

Lは、第1配線電極4 I R, 4 I L, 4 O R, 4 O Lの配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lの端部に接続されている。より具体的には、貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lは、第1配線電極4 O R, 4 O Lの本体部4 1 R, 4 1 Lによって構成される配線部4 a I R, 4 a I L, 4 a O R, 4 a O Lの端部に接続されている。すなわち、貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lは、第1配線電極4 O R, 4 O Lを介し、第1電極2 R, 2 Lに電氣的に接続されている。貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lは、第1電極2 R, 2 L側から第2電極3側へと延びている。本実施形態の例では、貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lは、高さ方向HDに沿って延びている。この場合、第1電極2 R, 2 Lの電気信号が貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lを介して第2電極3側に取り出され、あるいは貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lを介して第1電極2 R, 2 Lに電気信号が供給される。本実施形態の例では、貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lは、光導波路1が形成されているベース層15を貫通している。

[0125] 本実施形態に係る光変調器100Eによれば、第1電極2 R, 2 L用の電極パッドと第2電極3用の電極パッドとを同一平面内に配置することができ、電気配線を簡素化することができる。また、第1電極2 R, 2 L用及び第2電極3用の電気配線を近づけることができるため、電気信号の損失を低減することができる。

[0126] <第7実施形態>

図15を参照して、第7実施形態に係る光変調器100Fの構成を説明する。図15は、第7実施形態に係る光変調器100Fの構成を示す断面図であり、図14に相当する断面図である。光変調器100Fは、貫通電極8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O Lの構成において第6実施形態に係る光変調器100Eと異なる。

[0127] 図15に示すように、貫通電極8 O R, 8 O Lは、キャビティCを画定する側壁61aに沿って設けられている。貫通電極8 O R, 8 O Lは、光変調器100Fの高さ方向HDに対して傾斜している。より具体的には、貫通電

極 8OR, 8OL のうち側壁 61a に接する表面 811 は、底壁 61b 側に近づくにつれて幅方向 WD の内側に向かうように高さ方向 HD に対して傾斜する。側壁 61a の表面も、貫通電極 8OR, 8OL と同様に傾斜している。

[0128] 本実施形態に係る光変調器 100F では、貫通電極 8IR, 8IL, 8OR, 8OL を高さ方向 HD に対して傾斜させている。そのため、貫通電極 8IR, 8IL, 8OR, 8OL の表面 811 を第 1 電極 2R, 2L に対して緩やかに接合することができる。これにより、貫通電極 8IR, 8IL, 8OR, 8OL と第 1 配線電極 4IR, 4IL, 4OR, 4OL との接合部での高周波信号の損失を低減することができ、広帯域での変調を実現することができる。

[0129] <第 8 実施形態>

図 16 を参照して、第 8 実施形態に係る光変調器 100G の構成を説明する。図 16 は、第 8 実施形態に係る光変調器 100G の構成を示す断面図である。光変調器 100G は、第 1 電極 2R, 2L 及び第 1 配線電極 4OR, 4OL の構成において第 1 実施形態に係る光変調器 100 と異なる。

[0130] 図 16 に示すように、第 1 電極 2R, 2L の厚み t_2 は、第 1 配線電極 4OR, 4OL の厚み t_4 よりも大きい。第 1 電極 2R, 2L の厚み t_2 は、高さ方向 HD における第 1 電極 2R, 2L の最大長さである。第 1 配線電極 4OR, 4OL の厚み t_4 は、本体部 41R, 41L の厚み t_{41} 及び連結部 42R, 42L の厚み t_{42} のうちの最大厚みである。本体部 41R, 41L の厚み t_{41} は、本体部 41R, 41L が設けられた凹部 61 の底壁 61b の表面を基準にし、この表面からこの表面に垂直な方向の最大寸法である。連結部 42R, 42L の厚み t_{42} は、連結部 42R, 42L が設けられた凹部 61 の側壁 61a, 61a の表面を基準にし、この表面からこの表面に垂直な方向の最大寸法である。

[0131] 本実施形態に係る光変調器 100G では、第 1 電極 2R, 2L の厚み t_2 を第 1 配線電極 4IR, 4IL, 4OR, 4OL の厚み t_4 よりも大きくし

ている。これにより、光変調器 100G において光変調を行う部分（直線部 122R, 122L）での第1電極 2R, 2Lの電気抵抗を小さくすることができ、電気信号の損失を低減することができる。

[0132] <第9実施形態>

図17を参照して、第9実施形態に係る光変調器 100Hの構成を説明する。図17は、第9実施形態に係る光変調器 100Hの構成を示す断面図である。光変調器 100Hは、低誘電率層 9を備える構成において第1実施形態に係る光変調器 100と異なる。

[0133] 図17に示すように、光変調器 100Hは、光導波路 1と第2電極 3との間に、低誘電率層 9を備える。低誘電率層 9は、光導波路 1の屈折率よりも小さい屈折率を有する。本実施形態の例では、光導波路 1及びベース層 15を覆うように低誘電率層 9が設けられている。

[0134] 本実施形態に係る光変調器 100Hでは、光導波路 1と第2電極 3との間に低誘電率層 9が設けられている。そのため、光導波路 1を通過する光が第2電極 3に吸収されにくくなり、光の損失を抑制することができる。また、低誘電率層 9が設けられることにより、光波の実効屈折率と一致するように高周波信号の実効屈折率を調整することができる。そのため、より高周波まで光変調を行うことができる。さらに、低誘電率層 9が設けられることにより、電気信号に対する実効誘電率を下げるることができる。そのため、高周波信号の損失を抑制でき、より高周波まで光変調を行うことができる。

[0135] 図18及び図19に、第9実施形態に係る光変調器 100Hの変形例を示す。図18に示す光変調器 100Hは、光導波路 1と第1電極 2R, 2Lとの間に、低誘電率層 9Aを備える。図19に示す光変調器 100Hは、光導波路 1と第2電極 3との間に、低誘電率層 9を備え、さらに光導波路 1と第1電極 2R, 2Lとの間に、低誘電率層 9Aを備える。本実施形態の例では、ベース層 15と第1電極 2R, 2Lとの間に、低誘電率層 9Aが設けられている。低誘電率層 9Aにより、光導波路 1を通過する光が第1電極 2R, 2Lに吸収されにくくなる。また、低誘電率層 9と同様に、高周波信号の実

効屈折率を調整することができ、電気信号に対する実効誘電率を下げるることができる。

[0136] <第10実施形態>

図20を参照して、第10実施形態に係る光変調器100Iの構成を説明する。図20は、第10実施形態に係る光変調器100Iの構成を示す断面図である。光変調器100Iは、光導波路1に対するキャビティCの配置において第9実施形態に係る光変調器100Hと異なる。

[0137] 図20に示すように、光導波路1、第1電極2R、2L、及び第2電極3は、支持基板6上に配置されている。具体的には、第2電極3は、光導波路1に対して支持基板6側に、低誘電率層9を介在して設けられている。キャビティCは、光導波路1に対して支持基板6の反対側に配置された低誘電率層9Aによって画定されている。このキャビティC内に第1電極2R、2L及び第1配線電極4IR、4IL、4OR、4OLが配置されている。この場合、支持基板6に対してキャビティCを上側に配置することができる。キャビティCが上側に配置されていると、光変調器100Iに被せるキャップを利用して、キャビティCを形成することができる。

[0138] <第11実施形態>

図21を参照して、第11実施形態に係る光変調器100Jの構成を説明する。図21は、第11実施形態に係る光変調器100Jの構成を示す模式図であり、図2Aに相当する断面図である。言い換えると、図21は、分岐光導波路12R、12Lの直線部122R、122Lの位置において光変調器100Jを長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面図である。光変調器100Jは、光導波路1に対する第1電極2R、2L及び第2電極3の配置において第1実施形態に係る光変調器100と異なる。

[0139] 図21に示すように、第1電極2R、2Lは、高さ方向HDにおいて光導波路1の一方側に配置されている。第1電極2R、2Lは、例えば、それぞれ分岐光導波路12R、12Lの真上に配置される。一方、第2電極3は、高さ方向HDにおいて光導波路1の他方側に配置されている。第2電極3は

、例えば、ベース層 15 の両面のうち、リッジ型の光導波路 1 と反対側の面上に配置される。また、第 2 電極 3 は、支持基板 6 上に配置されている。

[0140] 第 1 実施形態と同様に、第 1 配線電極 4 OR, 4 OL は、第 1 電極 2 R, 2 L に電氣的に接続されている。第 1 配線電極 4 OR, 4 OL は、高さ方向 HD において第 1 電極 2 R, 2 L に対して光導波路 1 と反対側に配置されている。より具体的には第 1 配線電極 4 OR, 4 OL の本体部 4 1 R, 4 1 L が第 1 電極 2 R, 2 L から高さ方向 HD に離れて配置されている。また、本体部 4 1 R, 4 1 L は、第 1 電極 2 R, 2 L から幅方向 WD の外側に位置をずらして配置されている。第 1 配線電極 4 OR, 4 OL の連結部 4 2 R, 4 2 L は、本体部 4 1 R, 4 1 L を第 1 電極 2 R, 2 L に連結する。連結部 4 2 R, 4 2 L は、例えば、第 1 電極 2 R, 2 L の幅方向 WD 外側の端部と、本体部 4 1 R, 4 1 L の幅方向 WD 内側の端部とを連結する。

[0141] 本実施形態では、高さ方向 HD において、光導波路 1 から第 1 電極 2 R, 2 L までに低誘電率層 9 A が設けられている。低誘電率層 9 A は、高さ方向 HD において、光導波路 1 から第 1 配線電極 4 OR, 4 OL までにも設けられている。第 1 配線電極 4 OR, 4 OL の位置での低誘電率層 9 A の厚み t_{9A4} は、第 1 電極 2 R, 2 L の位置での低誘電率層 9 A の厚み t_{9A2} よりも大きい。厚み t_{9A4} は、光導波路 1 から第 1 配線電極 4 OR, 4 OL までの低誘電率層 9 A の高さ方向 HD における長さであり、例えば、光導波路 1 から第 1 配線電極 4 OR, 4 OL の本体部 4 1 R, 4 1 L までの高さ方向 HD における最短距離である。厚み t_{9A2} は、光導波路 1 から第 1 電極 2 R, 2 L までの低誘電率層 9 A の高さ方向 HD における長さであり、例えば、光導波路 1 から第 1 電極 2 R, 2 L までの高さ方向 HD における最短距離である。第 1 配線電極 4 OR, 4 OL の位置での低誘電率層 9 A の厚み t_{9A4} は、第 1 電極 2 R, 2 L の位置での低誘電率層 9 A の厚み t_{9A2} の 2 倍以上であることが好ましい。

[0142] 図 22 に、第 1 実施形態に係る光変調器 100 J の変形例を示す。図 22 に示す光変調器 100 J は、光導波路 1 と第 1 電極 2 R, 2 L との間に低

誘電率層 9 A を備える。光変調器 100 J は、さらに、光導波路 1 と第 2 電極 3 との間に低誘電率層 9 を備える。

[0143] [光変調器 100 J の製造方法]

以下、光変調器 100 J の製造方法の一例を説明する。図 23 A～図 23 F は、光変調器 100 J の製造方法の一例を説明する模式図である。図 23 A に示すように、支持基板 6 の表面に、第 2 電極 3 を形成する。

[0144] 次に、図 23 B に示すように、表面に第 2 電極 3 が形成された支持基板 6 に電気光学材料基板 16 を貼り合わせる。貼り合わせ方法としては、上述した接合方法を用いることができる。ただし、電気光学材料基板 16 を貼り合わせることに代えて、エピタキシャル成膜、スピコート等により、電気光学材料を成膜してもよい。

[0145] 次に、図 23 C に示すように、電気光学材料基板 16 に対し、リソグラフィ等によるパターニングを施した後、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等を施す。これにより、光導波路 1 を有するベース層 15 を形成する。

[0146] 次に、図 23 D に示すように、光導波路 1 を有するベース層 15 の上に、低誘電率層 9 A を積層する。低誘電率層 9 A は、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により形成することができる。

[0147] 次に、図 23 E に示すように、低誘電率層 9 A に対し、リソグラフィ等によるパターニングを施した後、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等により、凹部 73 を形成する。

[0148] 次に、図 23 F に示すように、凹部 73 に対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等を施す。これにより、凹部 73 内に、第 1 電極 2 R, 2 L 及び第 1 配線電極 4 O R, 4 O L を形成する。このような方法により、光変調器 100 J を製造することができる。

[0149] 図 24 A～図 24 F は、光変調器 100 J の製造方法の他の一例を説明する模式図である。図 24 A に示すように、表面に第 2 電極 3 が形成された支持基板 6 を準備する。また、表面に第 2 電極 3 が形成された支持基板 6 とは

別の基板 7 4 を準備する。

[0150] 次に、図 2 4 B に示すように、図 2 3 B に示す場合と同様に、支持基板 6 に電気光学材料基板 1 6 を貼り合わせる。あるいは、電気光学材料基板 1 6 を貼り合わせることに代えて、電気光学材料を成膜してもよい。一方、基板 7 4 に対しては、リソグラフィ等によるパターンニングを施した後、ドライエッチング、ウェットエッチング、ダイシング等を施す。これにより、基板 7 4 に凸部 7 5 を形成する。

[0151] 次に、図 2 4 C に示すように、図 2 3 C に示す場合と同様に、光導波路 1 を有するベース層 1 5 を形成する。一方、凸部 7 5 が形成された基板 7 4 に対しては、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等を施し、これにより、凸部 7 5 の周囲に、第 1 電極 2 R, 2 L 及び第 1 配線電極 4 O R, 4 O L を形成する。

[0152] 次に、図 2 4 D に示すように、基板 7 4 の凸部 7 5 の上に、低誘電率層 9 A を積層する。低誘電率層 9 A の形成方法としては、上述した方法を用いることができる。

[0153] 次に、図 2 4 E に示すように、光導波路 1 が形成された支持基板 6 に、低誘電率層 9 A が形成された基板 7 4 を貼り合わせる。貼り合わせ方法としては、上述した接合方法を用いることができる。

[0154] 次に、図 2 4 F に示すように、基板 7 4 を除去する。基板 7 4 の除去は、ドライエッチング、ウェットエッチング等により行うことができる。このような方法により、光変調器 1 0 0 J を製造することができる。

[0155] 図 2 5 A ~ 図 2 5 E は、光変調器 1 0 0 J の製造方法の他の一例を説明する模式図である。図 2 5 A に示すように、キャビティ C を有する C - S O I 1 0 を準備する。

[0156] 次に、図 2 5 B に示すように、C - S O I 1 0 に対し、ドライエッチング、ウェットエッチング等を施し、活性層を除去する。また、光導波路 1 を有するベース層 1 5 を準備する。ベース層 1 5 において、光導波路 1 側の表面に低誘電率層 9 A を積層し、その反対側の表面に第 2 電極 3 を形成する。

[0157] 次に、図25Cに示すように、C-SOI10にベース層15を貼り合わせる。

[0158] 次に、図25Dに示すように、C-SOI10の裏面に対し、ドライエッチング、ウェットエッチングを施し、キャビティCを開口させる。

[0159] 次に、図25Eに示すように、開口したキャビティCに対し、スパッタリング、蒸着、エピタキシャル成膜等により、第1配線電極4OR, 4OLを形成する。このような方法により、光変調器100Jを製造することができる。

[0160] <第12実施形態>

図26を参照して、第12実施形態に係る光変調器100Kの構成を説明する。図26は、第12実施形態に係る光変調器100Kの構成を示す模式図であり、図2Aに相当する断面図である。言い換えると、図26は、分岐光導波路12R, 12Lの直線部122R, 122Lの位置において光変調器100Kを長手方向LDに対して垂直な面で切断したときの断面図である。光変調器100Kは、第2配線電極5I, 5Oを備える構成において第11実施形態に係る光変調器100Jと異なる。

[0161] 図26に示すように、光変調器100Kは、第2配線電極5I, 5Oを備える。第2配線電極5I, 5Oは、第2電極3に電氣的に接続されている。第2配線電極5I, 5Oは、高さ方向HDにおいて第2電極3に対して光導波路1と反対側に配置されている。第2配線電極5I, 5Oは、本体部51I, 51Oと、連結部52I, 52Oとを含む。

[0162] 本体部51I, 51Oは、第2電極3から高さ方向HDに離れて配置されている。また、本体部51I, 51Oは、第2電極3から幅方向WDの外側に位置をずらして配置されている。連結部52I, 52Oは、本体部51I, 51Oと第2電極3とを連結する。連結部52I, 52Oは、例えば、第2電極3の幅方向WD外側の端部と、本体部51I, 51Oの幅方向WD内側の端部とを連結する。連結部52I, 52Oは、光変調器100の横断面視で高さ方向HDに平行であってもよいし、高さ方向HDに対して傾斜して

いてもよい。

[0163] 本体部 51I, 51O 及び連結部 52I, 52O は、例えば、実質的に矩形の断面を有することができる。ただし、本体部 51I, 51O 及び連結部 52I, 52O の断面形状は、これに限定されるものではない。

[0164] 本実施形態では、高さ方向 HD において、光導波路 1 から第 2 電極 3 までに低誘電率層 9 が設けられている。低誘電率層 9 は、光導波路 1 から第 2 配線電極 5I, 5O までにも設けられている。この場合、第 2 配線電極 5I, 5O の位置での低誘電率層 9 の厚み t_{95} は、第 2 電極 3 の位置での低誘電率層 9 の厚み t_{93} よりも大きい。厚み t_{95} は、光導波路 1 から第 2 配線電極 5I, 5O までの低誘電率層 9 の高さ方向 HD における長さであり、例えば、ベース層 15 から第 2 配線電極 5I, 5O の本体部 51I, 51O までの高さ方向 HD における最短距離である。厚み t_{93} は、光導波路 1 から第 2 電極 3 までの低誘電率層 9A の高さ方向 HD における長さであり、例えば、ベース層 15 から第 2 電極 3 までの高さ方向 HD における最短距離である。第 2 配線電極 5I, 5O の位置での低誘電率層 9 の厚み t_{95} は、第 2 電極 3 の位置での低誘電率層 9 の厚み t_{93} の 2 倍以上であることが好ましい。

[0165] 本実施形態に係る光変調器 100K では、第 2 配線電極 5I, 5O が第 2 電極 3 に対して光導波路 1 の反対側に配置されている。そのため、第 2 配線電極 5I, 5O を光導波路 1 及び第 1 配線電極 4IR, 4IL, 4OR, 4OL から高さ方向 HD に自然に離すことができる。そのため、光導波路 1 に電界を印加する目的を持たない第 1 配線電極 4IR, 4IL, 4OR, 4OL 及び第 2 配線電極 5I, 5O 間で電界が形成されにくく、第 1 配線電極 4IR, 4IL, 4OR, 4OL 及び第 2 配線電極 5I, 5O による電界が光導波路 1 に印加されるのを防止することができる。そのため、光変調器 100K における電氣的な損失をより抑制することができる。

[0166] <第 13 実施形態>

図 27 を参照して、第 13 実施形態に係る光変調器 100L の構成を説明

する。図27は、第13実施形態に係る光変調器100Lの構成を示す断面図である。光変調器100Lは、貫通電極8A1, 8A0を備える点において第12実施形態に係る光変調器100Kと異なる。

[0167] 図27に示すように、光変調器100Lは、貫通電極8A1, 8A0を備える。貫通電極8A1, 8A0は、第2配線電極51, 50の端部に接続されている。より具体的には、貫通電極8A1, 8A0は、第2配線電極51, 50の本体部511, 510に接続されている。すなわち、貫通電極8A1, 8A0は、第2配線電極51, 50を介し、第2電極3に電氣的に接続されている。貫通電極8A1, 8A0は、第2電極3側から第1電極2R, 2L側へと延びている。本実施形態の例では、貫通電極8A1, 8A0は、高さ方向HDに沿って延びている。この場合、第2電極3の電気信号が貫通電極8A1, 8A0を介して第1電極2R, 2L側に取り出され、あるいは貫通電極8A1, 8A0を介して第2電極3に電気信号が供給される。本実施形態の例では、貫通電極8A1, 8A0は、光導波路1が形成されているベース層15、及び低誘電率層9, 9Aを貫通している。

[0168] 本実施形態に係る光変調器100Lによれば、第1電極2R, 2L用の電極パッドと第2電極3用の電極パッドとを同一平面内に配置することができ、電気配線を簡素化することができる。また、第1電極2R, 2L用及び第2電極3用の電気配線を近づけることができるため、電気信号のロスを抑制することができる。

[0169] <第14実施形態>

図28を参照して、第14実施形態に係る光変調器100Mの構成を説明する。図28は、第14実施形態に係る光変調器100Mの構成を示す断面図である。光変調器100Mは、貫通電極8A1, 8A0の構成において第13実施形態に係る光変調器100Lと異なる。

[0170] 図28に示すように、貫通電極8A1, 8A0は、光変調器100Mの高さ方向HDに対して傾斜している。貫通電極8A1, 8A0は、第2配線電極51, 50側がより幅方向WD内側に位置するように、高さ方向HDに対

して傾斜している。貫通電極 8 A I, 8 A O は、低誘電率層 9, 9 A を貫通している。

[0171] 本実施形態に係る光変調器 100 M では、貫通電極 8 A I, 8 A O を高さ方向 H D に対して傾斜させている。そのため、貫通電極 8 A I, 8 A O を第 2 電極 3 に対して緩やかに接合することができる。これにより、貫通電極 8 A I, 8 A O と第 2 電極 3 との接合部での高周波信号の損失を低減することができ、広帯域での変調を実現することができる。

[0172] <第 15 実施形態>

図 29～図 32 を参照して、第 15 実施形態に係る光変調器 100 N の構成を説明する。これらの各図は、第 15 実施形態に係る光変調器 100 N の構成を示す模式図であり、図 2 A に相当する断面図である。言い換えると、これらの各図は、分岐光導波路 12 R, 12 L の直線部 122 R, 122 L の位置において光変調器 100 N を長手方向 L D に対して垂直な面で切断したときの断面図である。

[0173] 上記各実施形態では、光導波路 1、第 1 電極 2 R, 2 L、及び第 2 電極 3 が実質的に高さ方向 H D に沿って配列されている例について説明した。本実施形態に係る光変調器 100 N では、光導波路 1、第 1 電極 2 R, 2 L、及び第 2 電極 3 の配列が他の実施形態と異なる。

[0174] 図 29～図 32 に示す光変調器 100 N では、他の実施形態と同様、第 1 電極 2 R, 2 L が光導波路 1 に対して高さ方向 H D の一方側に配置され、第 2 電極 3 が光導波路 1 に対して高さ方向 H D の他方側に配置される。すなわち、高さ方向 H D において、光導波路 1 の中心 C 1 に対して第 1 電極 2 R, 2 L の中心 C 2 が一方側、第 2 電極 3 の中心 C 3 が他方側に配置される。その上で、幅方向 W D において、第 1 電極 2 R, 2 L と第 2 電極 3 との間に光導波路 1 が配置されている。例えば、第 1 電極 2 R, 2 L は、幅方向 W D において光導波路 1 よりも外側に配置され、第 2 電極 3 は、幅方向 W D において光導波路 1 よりも内側に配置される。このような場合であっても、光変調器 100 N を光変調器 100 N の下面から高さ方向 H D に一方側と他方側と

に区分したときに、その一方側に第1電極2R, 2Lが配置され、その他方側に第2電極3が配置されていることは、他の実施形態と同じである。

[0175] 図示を省略するが、図29～図32に示す光変調器100Nは、他の実施形態のいずれかと同様の構成の配線電極を有することができる。

[0176] 以上、本開示に係る実施形態について説明したが、本開示は上記実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。

[0177] 本開示に係る光変調器の構成を以下にまとめる。

[0178] <1>

光変調器であって、

電気光学効果を有する光導波路と、

前記光導波路に対して前記光変調器の高さ方向の一方側に配置され、前記光導波路の一部に沿って延在する第1電極と、

前記光導波路に対して前記高さ方向の他方側に配置され、前記第1電極との間で電位差を形成し前記第1電極とともに前記光導波路に電界を印加する第2電極と、

前記高さ方向において前記第1電極に対して前記光導波路と反対側に配置され、前記第1電極に電氣的に接続される第1配線電極と、を備え、

前記第1配線電極は、前記高さ方向に沿って見て前記第1電極の延在方向の端部から引き出されるように配置された配線部を含む、光変調器。

[0179] <2>

<1>に記載の光変調器であって、

前記第1電極は、前記光変調器内に設けられたキャビティ内に配置されている、光変調器。

[0180] <3>

<2>に記載の光変調器であって、

前記第1配線電極は、前記キャビティ内に配置され、前記キャビティを画定する側壁に支持されている、光変調器。

[0181] <4>

<1>~<3>のいずれか1つに記載の光変調器であって、

前記第1配線電極は、前記第1電極から前記高さ方向に離れて配置され、一部が前記配線部を構成する本体部と、前記本体部と前記第1電極とを連結する連結部とを含み、

前記連結部は、前記第1電極の延在方向に対して垂直な断面で見て前記高さ方向に対して傾斜する、光変調器。

[0182] <5>

<1>~<4>のいずれか1つに記載の光変調器であって、

前記第1配線電極は、前記第1電極から前記高さ方向に離れて配置され、一部が前記配線部を構成する本体部と、前記本体部と前記第1電極とを連結する連結部とを含み、

前記連結部は、前記第1電極の延在方向の端部に連続する表面を含み、

前記表面は、前記光変調器の幅方向に沿って見て、前記第1電極側に対して前記本体部側が前記第1電極から前記延在方向に離れるように、前記高さ方向に対して傾斜する、光変調器。

[0183] <6>

<2>に記載の光変調器であって、

前記第1配線電極の少なくとも一部が前記キャビティ内に自立して配置される、光変調器。

[0184] <7>

<1>~<6>のいずれか1つに記載の光変調器であって、さらに、

前記第1配線電極の前記配線部に接続され、前記第1電極側から前記第2電極側に延びる貫通電極を備える、光変調器。

[0185] <8>

<7>に記載の光変調器であって、

前記貫通電極が、前記高さ方向に対して傾斜している、光変調器。

[0186] <9>

<1>～<8>のいずれか1つに記載の光変調器であって、
前記第1電極の厚みが前記第1配線電極の厚みよりも大きい、光変調器。

[0187] <10>

<1>～<9>のいずれか1つに記載の光変調器であって、
前記第1電極と前記第1配線電極とが接合され、前記第1電極と前記第1
配線電極との界面に空隙が存在する、光変調器。

[0188] <11>

<1>～<9>のいずれか1つに記載の光変調器であって、
前記第1電極と前記第1配線電極とが接合され、前記第1電極と前記第1
配線電極との界面に酸素が存在する、光変調器。

[0189] <12>

<1>～<9>のいずれか1つに記載の光変調器であって、
前記第1電極と前記第1配線電極とが接合され、前記第1電極と前記第1
配線電極との間に共晶が存在する、光変調器。

[0190] <13>

<1>～<9>のいずれか1つに記載の光変調器であって、
前記第1電極と前記第1配線電極とが接合され、前記第1電極と前記第1
配線電極との界面に樹脂が存在する、光変調器。

[0191] <14>

<1>～<13>のいずれか1つに記載の光変調器であって、
前記光変調器の幅方向において、前記第1電極の長さは、前記光導波路の
長さよりも大きい、光変調器。

[0192] <15>

<1>～<14>のいずれか1つに記載の光変調器であって、さらに、
前記光導波路と前記第1電極との間、及び前記光導波路と前記第2電極と
の間の少なくとも一方に設けられ、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折
率を有する低誘電率層を備える、光変調器。

[0193] <16>

< 1 5 >に記載の光変調器であって、

前記低誘電率層は、前記高さ方向において、前記光導波路から前記第 1 電極まで、及び前記光導波路から前記第 1 配線電極までに設けられ、

前記光導波路から前記第 1 配線電極までの前記低誘電率層の前記高さ方向における長さは、前記光導波路から前記第 1 電極までの前記低誘電率層の前記高さ方向における長さよりも大きい、光変調器。

[0194] < 1 7 >

< 1 >~< 1 6 >のいずれか 1 つに記載の光変調器であって、さらに、

前記第 1 電極に対して前記光導波路と反対側に配置され、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率材料で形成される支持基板を備える、光変調器。

[0195] < 1 8 >

< 1 >~< 1 7 >のいずれか 1 つに記載の光変調器であって、さらに、

前記高さ方向において前記第 2 電極に対して前記光導波路と反対側に配置され、前記第 2 電極に電氣的に接続される第 2 配線電極を備える、光変調器。

[0196] < 1 9 >

< 1 8 >に記載の光変調器であって、さらに、

前記第 2 配線電極に接続され、前記第 2 電極側から前記第 1 電極側に延びる貫通電極を備える、光変調器。

[0197] < 2 0 >

< 1 8 >又は< 1 9 >に記載の光変調器であって、

前記第 2 電極の厚みが前記第 2 配線電極の厚みより大きい、光変調器。

[0198] < 2 1 >

< 1 8 >~< 2 0 >のいずれか 1 つに記載の光変調器であって、さらに、

前記高さ方向において、前記光導波路から前記第 1 電極まで、及び前記光導波路から前記第 1 配線電極までに設けられ、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する第 1 低誘電率層と、

前記高さ方向において、前記光導波路から前記第２電極まで、及び前記光導波路から前記第２配線電極までに設けられ、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する第２低誘電率層と、を備え、

前記光導波路から前記第１配線電極までの前記第１低誘電率層の前記高さ方向における長さは、前記光導波路から前記第１電極までの前記第１低誘電率層の前記高さ方向における長さよりも大きく、

前記光導波路から前記第２配線電極までの前記第２低誘電率層の前記高さ方向における長さは、前記光導波路から前記第２電極までの前記第２低誘電率層の前記高さ方向における長さよりも大きい、光変調器。

符号の説明

[0199] １００，１００Ａ，１００Ｂ，１００Ｃ，１００Ｄ，１００Ｅ，１００Ｆ，１００Ｇ，１００Ｈ，１００Ｉ，１００Ｊ，１００Ｋ，１００Ｌ，１００Ｍ，１００Ｎ：光変調器

１：光導波路

１１：入側光導波路

１２Ｒ，１２Ｌ：分岐光導波路

１３：出側光導波路

１２１Ｒ，１２１Ｌ：入側中継部

１２２Ｒ，１２２Ｌ：直線部

１２３Ｒ，１２３Ｌ：出側中継部

１５：ベース層

１６：電気光学材料基板

２Ｒ，２Ｌ：第１電極

２ａＲ，２ｂＲ，２ａＬ，２ｂＬ：端部

３：第２電極

４ＩＲ，４ＩＬ，４ＯＲ，４ＯＬ：第１配線電極

４ａＩＲ，４ａＩＬ，４ａＯＲ，４ａＯＬ：配線部

４１Ｒ，４１Ｌ：本体部

4 2 R, 4 2 L : 連結部

4 2 a : 表面

5 I, 5 O : 第2配線電極

5 1 I, 5 1 O : 本体部

5 2 I, 5 2 O : 連結部

V : 空隙

C : キャビティ

6 : 支持基板

6 1 : 凹部

6 1 a : 側壁

6 1 b : 底壁

8 I R, 8 I L, 8 O R, 8 O L, 8 A I, 8 A O : 貫通電極

9, 9 A : 低誘電率層

H D : 高さ方向

W D : 幅方向

L D : 長手方向

請求の範囲

- [請求項1] 光変調器であって、
電気光学効果を有する光導波路と、
前記光導波路に対して前記光変調器の高さ方向の一方側に配置され、
前記光導波路の一部に沿って延在する第1電極と、
前記光導波路に対して前記高さ方向の他方側に配置され、前記第1電極との間で電位差を形成し前記第1電極とともに前記光導波路に電界を印加する第2電極と、
前記高さ方向において前記第1電極に対して前記光導波路と反対側に配置され、前記第1電極に電氣的に接続される第1配線電極と、を
備え、
前記第1配線電極は、前記高さ方向に沿って見て前記第1電極の延在方向の端部から引き出されるように配置された配線部を含む、光変調器。
- [請求項2] 請求項1に記載の光変調器であって、
前記第1電極は、前記光変調器内に設けられたキャビティ内に配置されている、光変調器。
- [請求項3] 請求項2に記載の光変調器であって、
前記第1配線電極は、前記キャビティ内に配置され、前記キャビティを画定する側壁に支持されている、光変調器。
- [請求項4] 請求項1～3のいずれか1項に記載の光変調器であって、
前記第1配線電極は、前記第1電極から前記高さ方向に離れて配置され、一部が前記配線部を構成する本体部と、前記本体部と前記第1電極とを連結する連結部とを含み、
前記連結部は、前記第1電極の延在方向に対して垂直な断面で見て前記高さ方向に対して傾斜する、光変調器。
- [請求項5] 請求項1～4のいずれか1項に記載の光変調器であって、
前記第1配線電極は、前記第1電極から前記高さ方向に離れて配置

され、一部が前記配線部を構成する本体部と、前記本体部と前記第 1 電極とを連結する連結部とを含み、

前記連結部は、前記第 1 電極の延在方向の端部に連続する表面を含み、

前記表面は、前記光変調器の幅方向に沿って見て、前記第 1 電極側に対して前記本体部側が前記第 1 電極から前記延在方向に離れるように、前記高さ方向に対して傾斜する、光変調器。

[請求項6] 請求項 2 に記載の光変調器であって、

前記第 1 配線電極の少なくとも一部が前記キャビティ内に自立して配置される、光変調器。

[請求項7] 請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、さらに、

前記第 1 配線電極の前記配線部に接続され、前記第 1 電極側から前記第 2 電極側に延びる貫通電極を備える、光変調器。

[請求項8] 請求項 7 に記載の光変調器であって、

前記貫通電極が、前記高さ方向に対して傾斜している、光変調器。

[請求項9] 請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、

前記第 1 電極の厚みが前記第 1 配線電極の厚みよりも大きい、光変調器。

[請求項10] 請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、

前記第 1 電極と前記第 1 配線電極とが接合され、前記第 1 電極と前記第 1 配線電極との界面に空隙が存在する、光変調器。

[請求項11] 請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、

前記第 1 電極と前記第 1 配線電極とが接合され、前記第 1 電極と前記第 1 配線電極との界面に酸素が存在する、光変調器。

[請求項12] 請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、

前記第 1 電極と前記第 1 配線電極とが接合され、前記第 1 電極と前記第 1 配線電極との間に共晶が存在する、光変調器。

[請求項13] 請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、

前記第 1 電極と前記第 1 配線電極とが接合され、前記第 1 電極と前記第 1 配線電極との界面に樹脂が存在する、光変調器。

[請求項14] 請求項 1 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、
前記光変調器の幅方向において、前記第 1 電極の長さは、前記光導波路の長さよりも大きい、光変調器。

[請求項15] 請求項 1 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、さらに、
前記光導波路と前記第 1 電極との間、及び前記光導波路と前記第 2 電極との間の少なくとも一方に設けられ、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率層を備える、光変調器。

[請求項16] 請求項 1 5 に記載の光変調器であって、
前記低誘電率層は、前記高さ方向において、前記光導波路から前記第 1 電極まで、及び前記光導波路から前記第 1 配線電極までに設けられ、
前記光導波路から前記第 1 配線電極までの前記低誘電率層の前記高さ方向における長さは、前記光導波路から前記第 1 電極までの前記低誘電率層の前記高さ方向における長さよりも大きい、光変調器。

[請求項17] 請求項 1 ～ 1 6 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、さらに、
前記第 1 電極に対して前記光導波路と反対側に配置され、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する低誘電率材料で形成される支持基板を備える、光変調器。

[請求項18] 請求項 1 ～ 1 7 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、さらに、
前記高さ方向において前記第 2 電極に対して前記光導波路と反対側に配置され、前記第 2 電極に電氣的に接続される第 2 配線電極を備える、光変調器。

[請求項19] 請求項 1 8 に記載の光変調器であって、さらに、

前記第 2 配線電極に接続され、前記第 2 電極側から前記第 1 電極側に延びる貫通電極を備える、光変調器。

[請求項20]

請求項 18 又は 19 に記載の光変調器であって、

前記第 2 電極の厚みが前記第 2 配線電極の厚みより大きい、光変調器。

[請求項21]

請求項 18～20 のいずれか 1 項に記載の光変調器であって、さらに、

前記高さ方向において、前記光導波路から前記第 1 電極まで、及び前記光導波路から前記第 1 配線電極までに設けられ、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する第 1 低誘電率層と、

前記高さ方向において、前記光導波路から前記第 2 電極まで、及び前記光導波路から前記第 2 配線電極までに設けられ、前記光導波路の屈折率よりも小さい屈折率を有する第 2 低誘電率層と、を備え、

前記光導波路から前記第 1 配線電極までの前記第 1 低誘電率層の前記高さ方向における長さは、前記光導波路から前記第 1 電極までの前記第 1 低誘電率層の前記高さ方向における長さよりも大きく、

前記光導波路から前記第 2 配線電極までの前記第 2 低誘電率層の前記高さ方向における長さは、前記光導波路から前記第 2 電極までの前記第 2 低誘電率層の前記高さ方向における長さよりも大きい、光変調器。

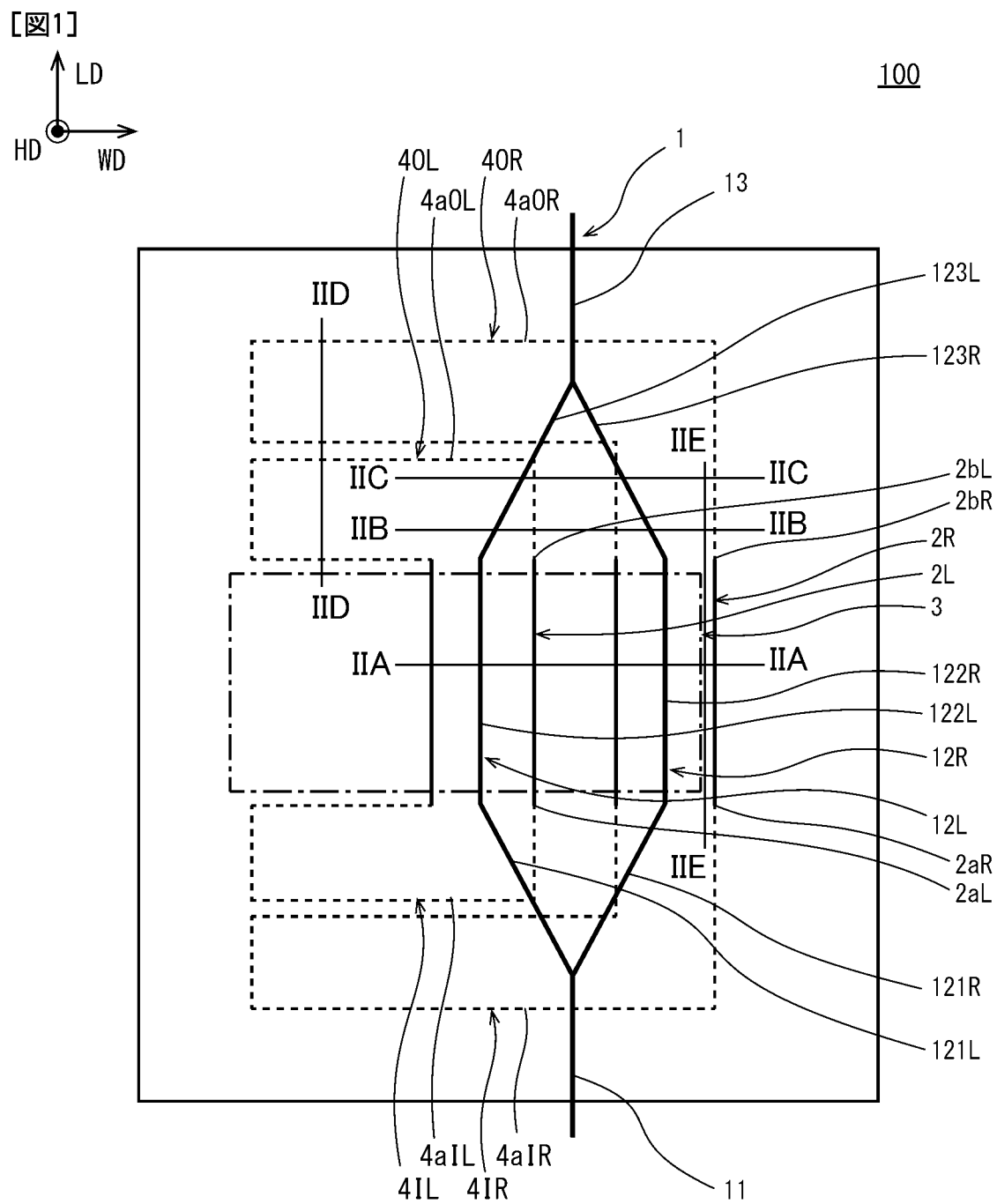


FIG. 1

[図2C]

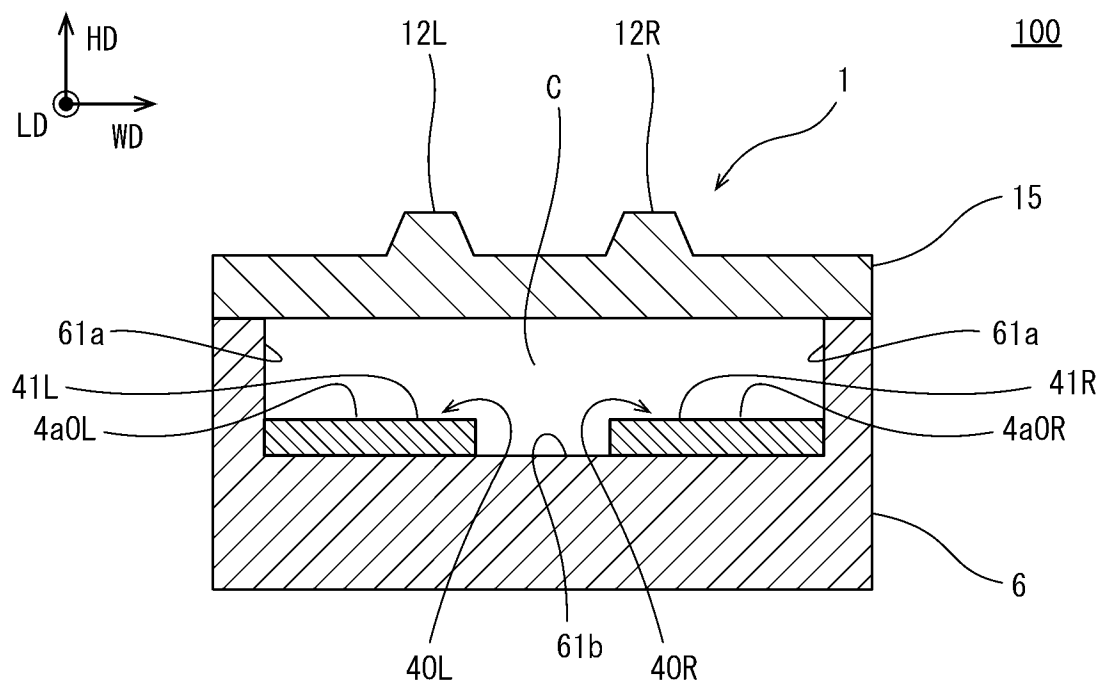


FIG. 2C

[図2D]

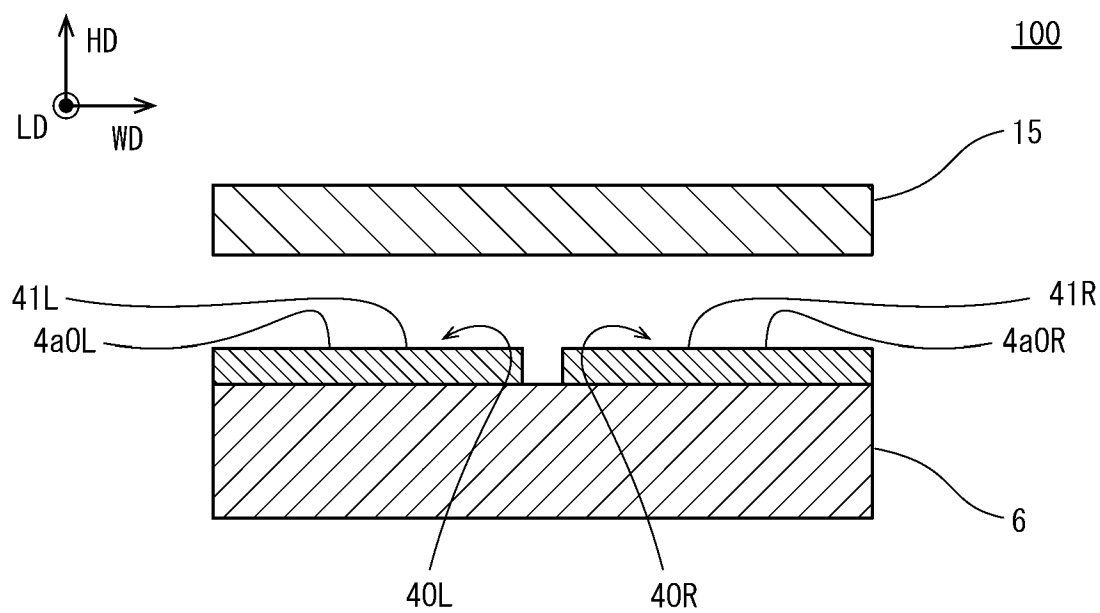


FIG. 2D

[図2E]

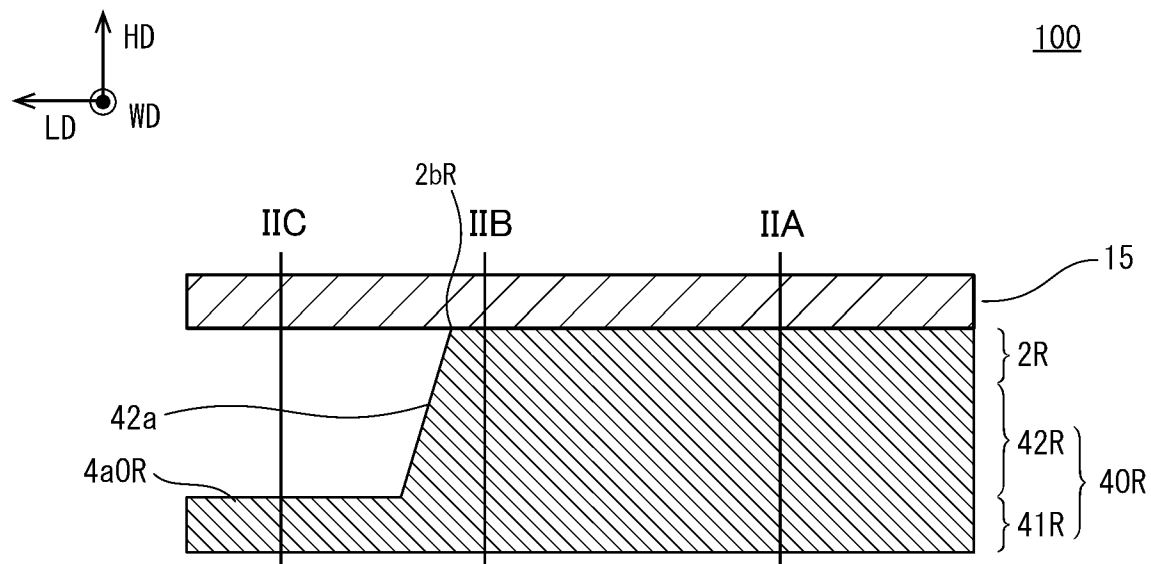


FIG. 2E

[図2F]

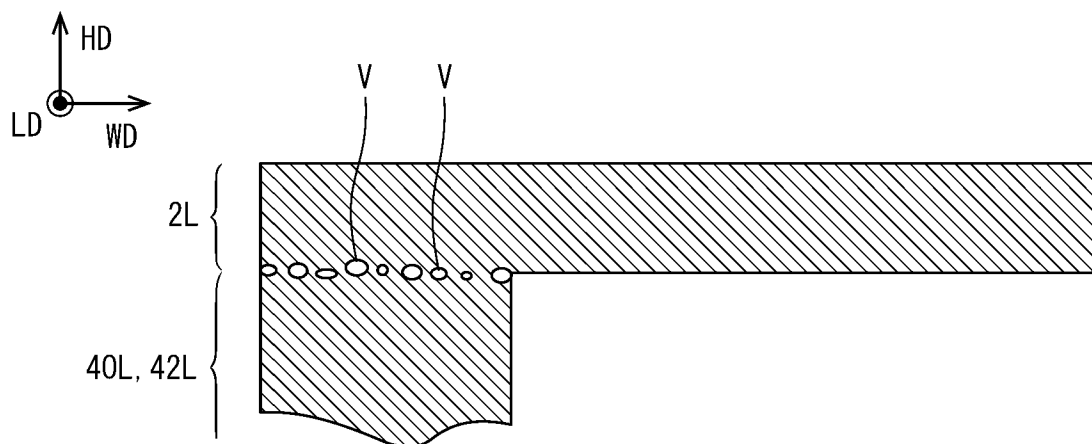


FIG. 2F

[図3A]

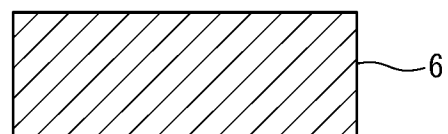
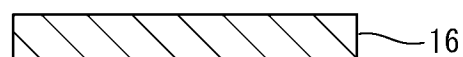


FIG. 3A

[図3B]

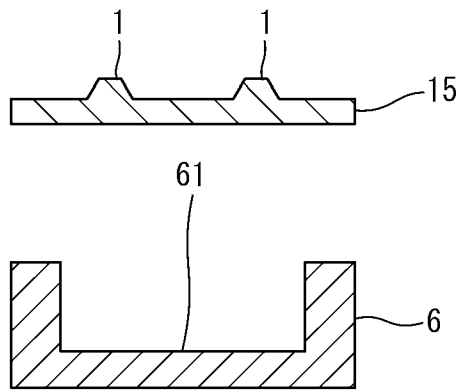


FIG. 3B

[図3C]

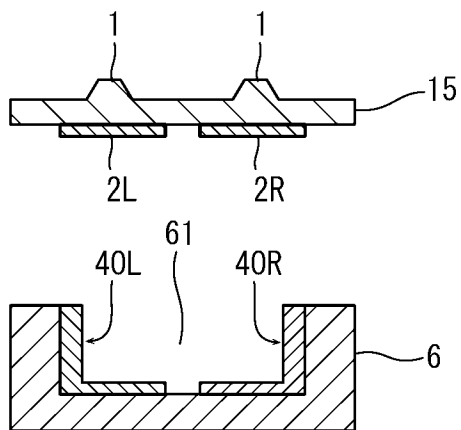


FIG. 3C

[図3D]

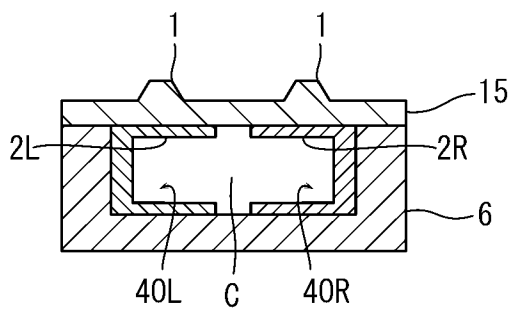


FIG. 3D

[図3E]

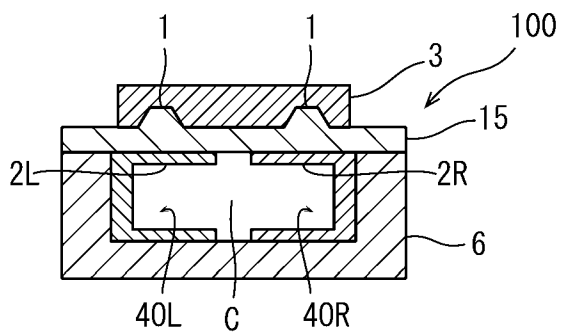


FIG. 3E

[図4A]

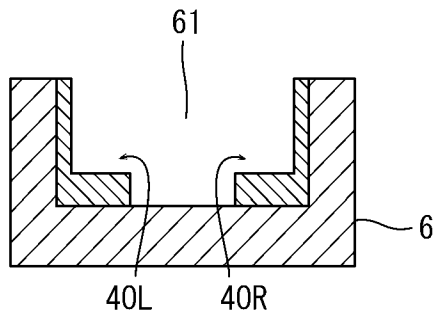


FIG. 4A

[図4B]

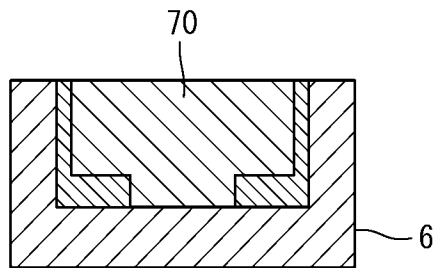


FIG. 4B

[図4C]

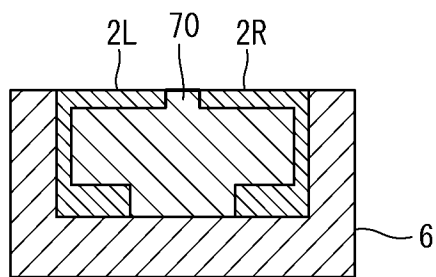


FIG. 4C

[図4D]

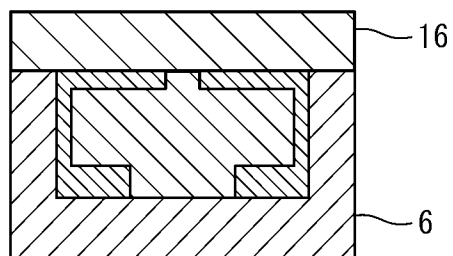


FIG. 4D

[図4E]

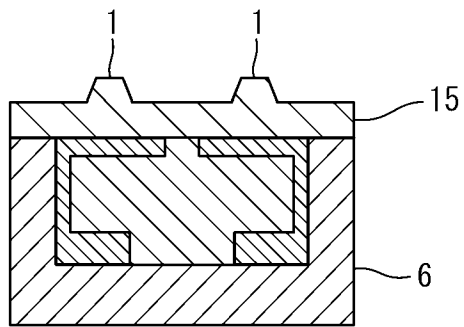


FIG. 4E

[図4F]

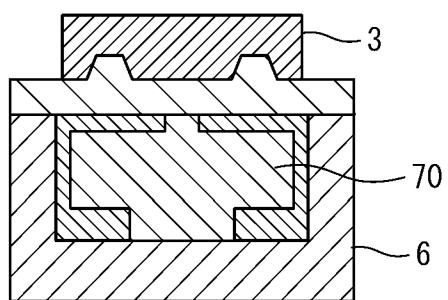


FIG. 4F

[図4G]

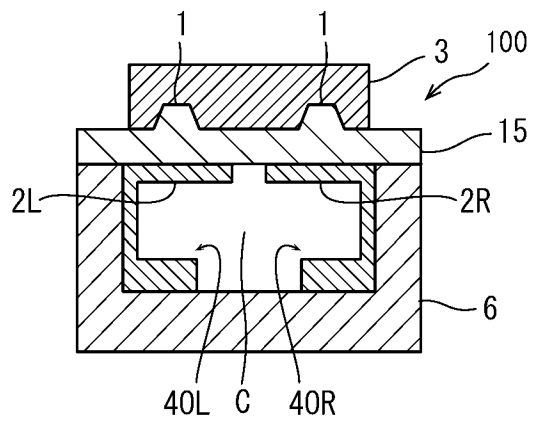


FIG. 4G

[図5A]

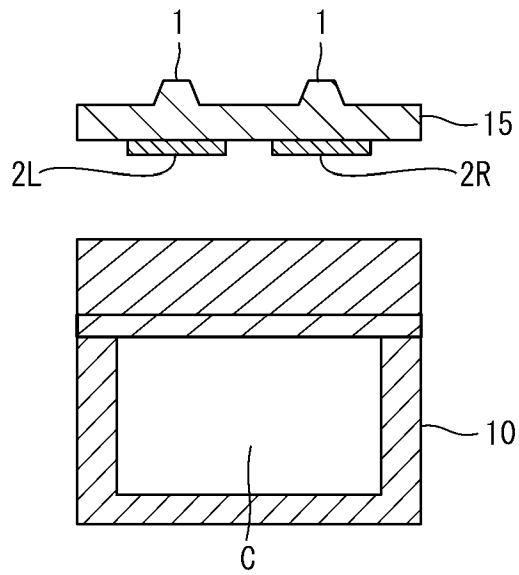


FIG. 5A

[図5B]

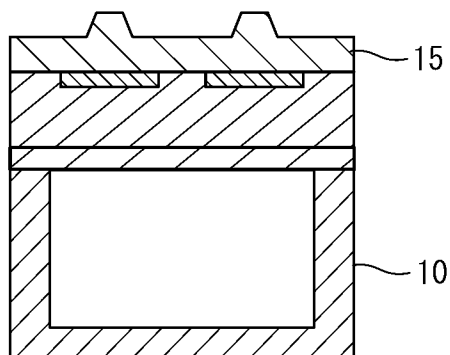


FIG. 5B

[図5C]

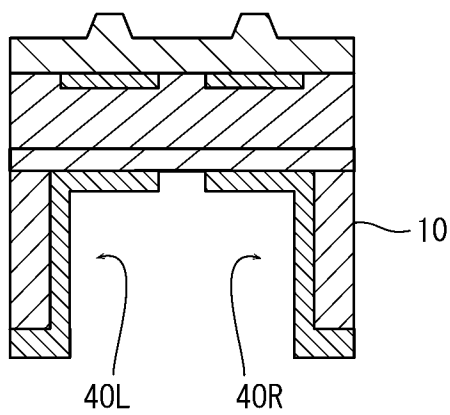


FIG. 5C

[図5D]

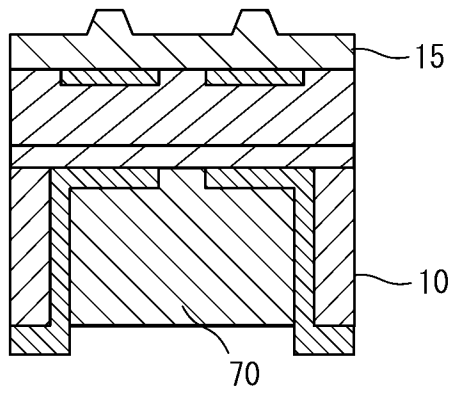


FIG. 5D

[図5E]

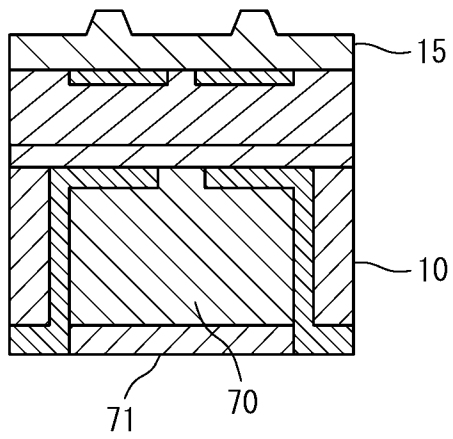


FIG. 5E

[図5F]

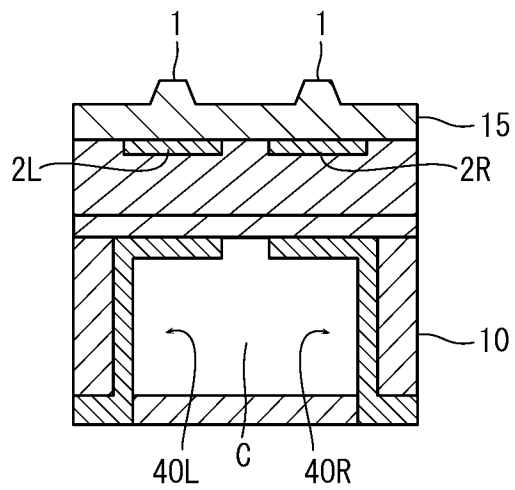


FIG. 5F

[図6A]

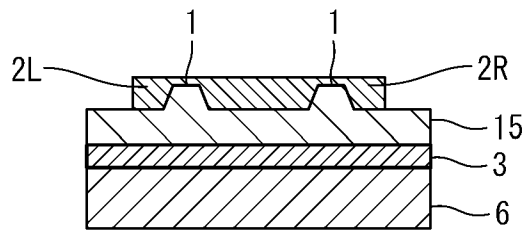


FIG. 6A

[図6B]

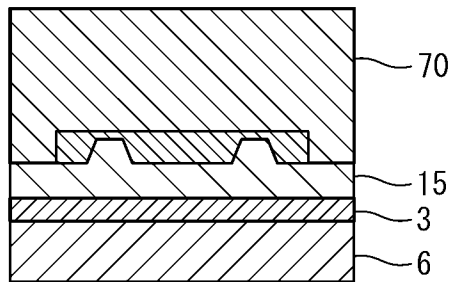


FIG. 6B

[図6C]

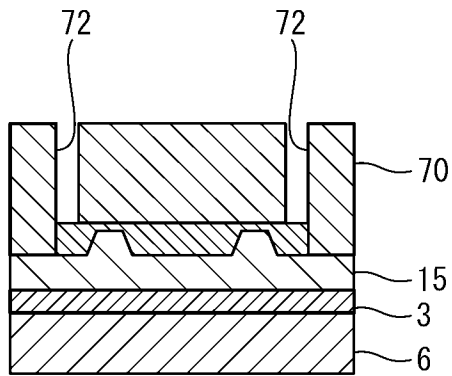


FIG. 6C

[図6D]

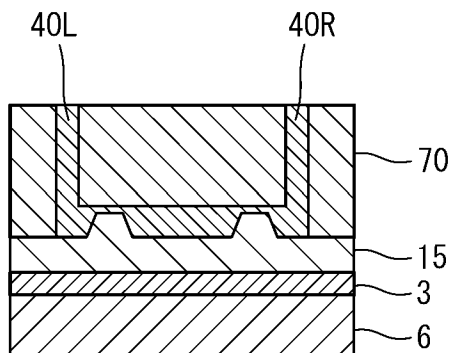


FIG. 6D

[FIG. 6E]

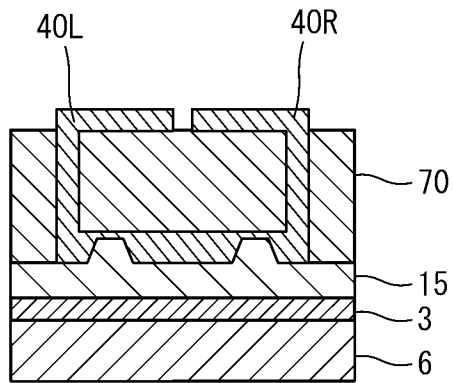


FIG. 6E

[FIG. 6F]

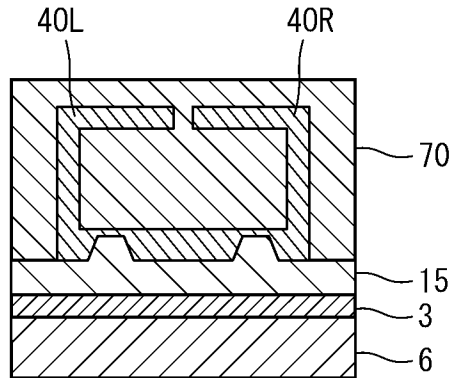


FIG. 6F

[FIG. 6G]

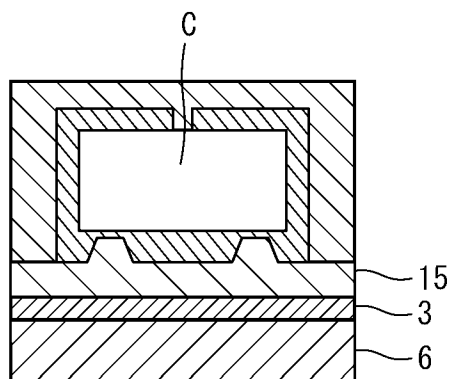


FIG. 6G

[図9]

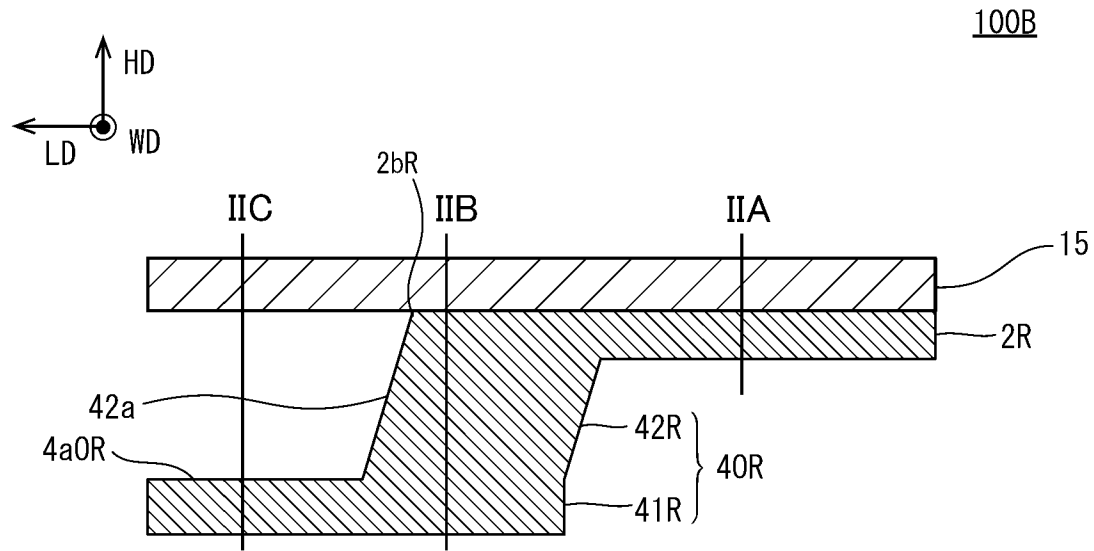


FIG. 9

[図10]

100C

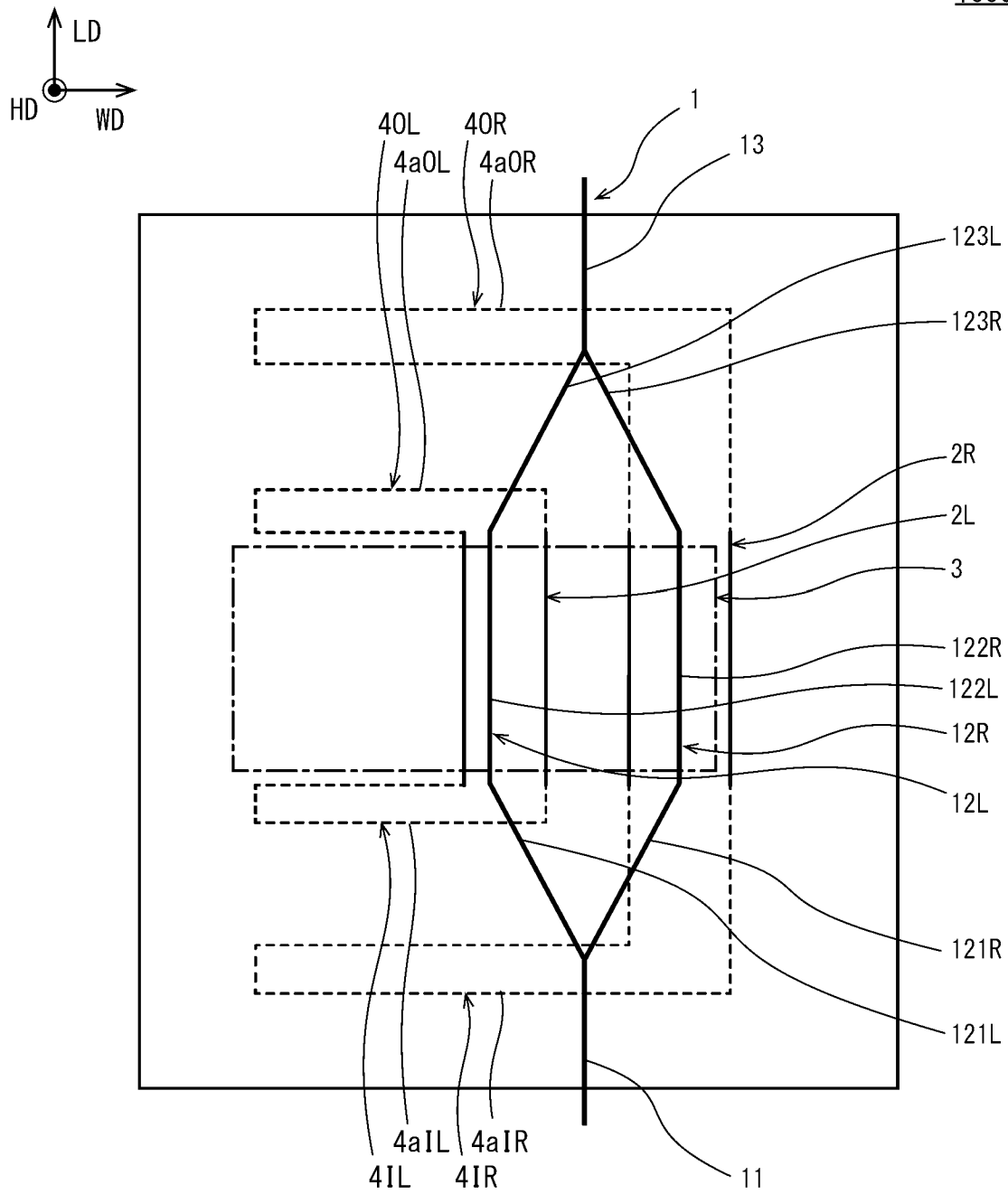


FIG. 10

[図11]

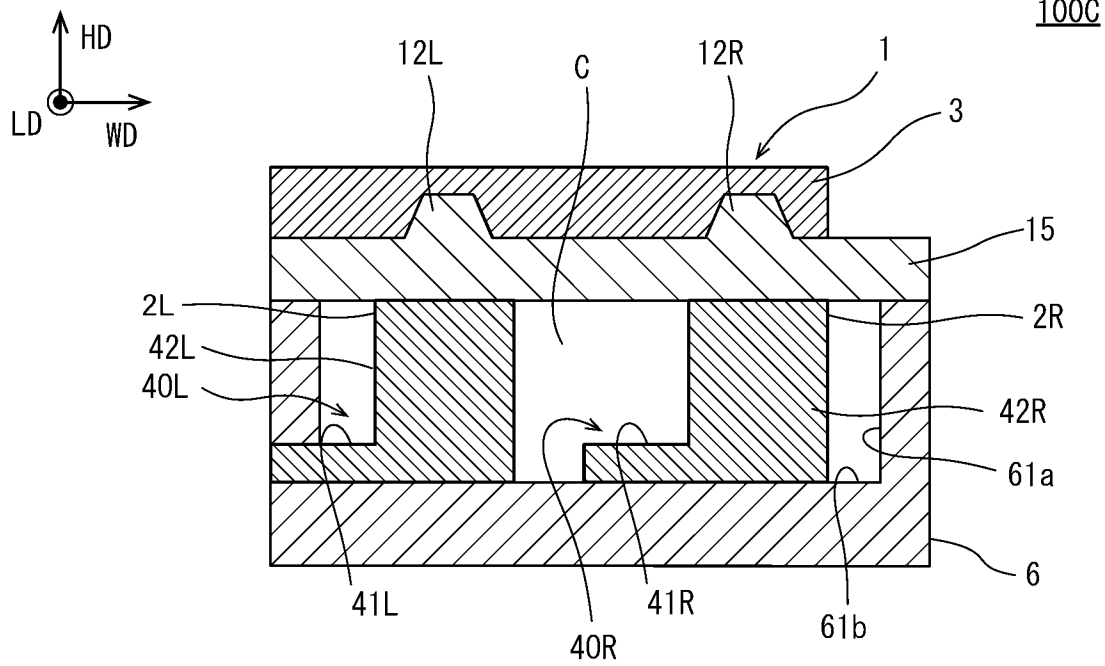


FIG. 11

[図12]

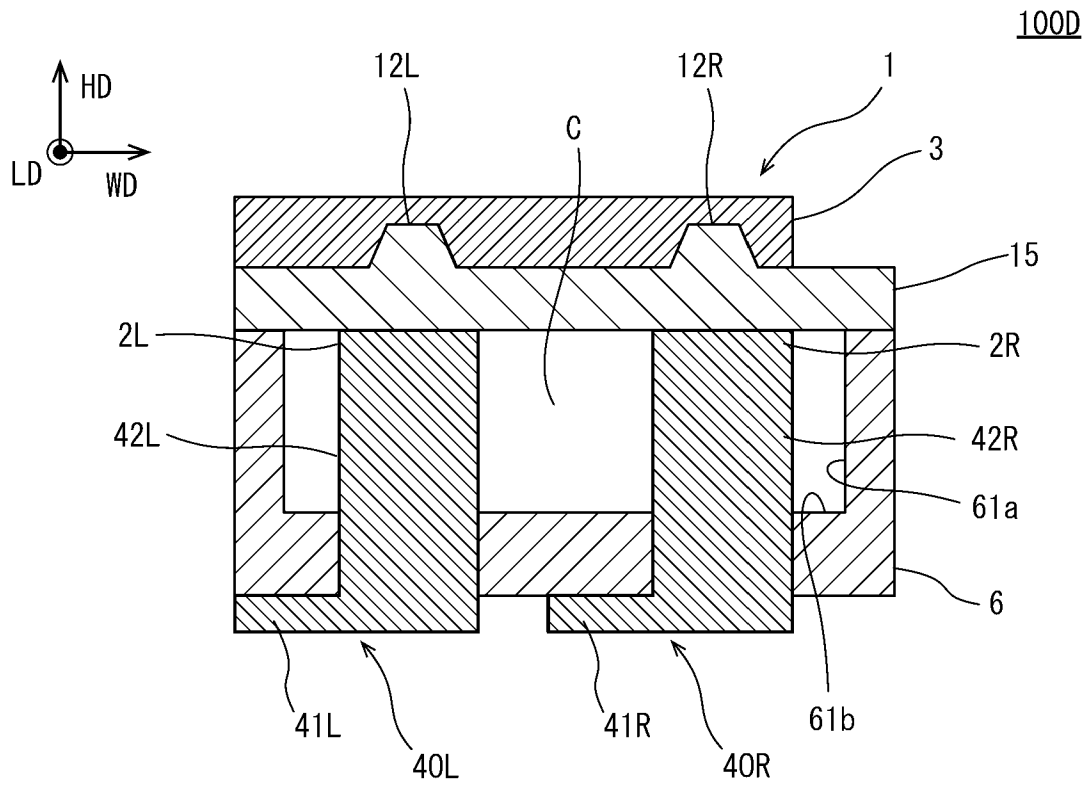


FIG. 12

[図13]

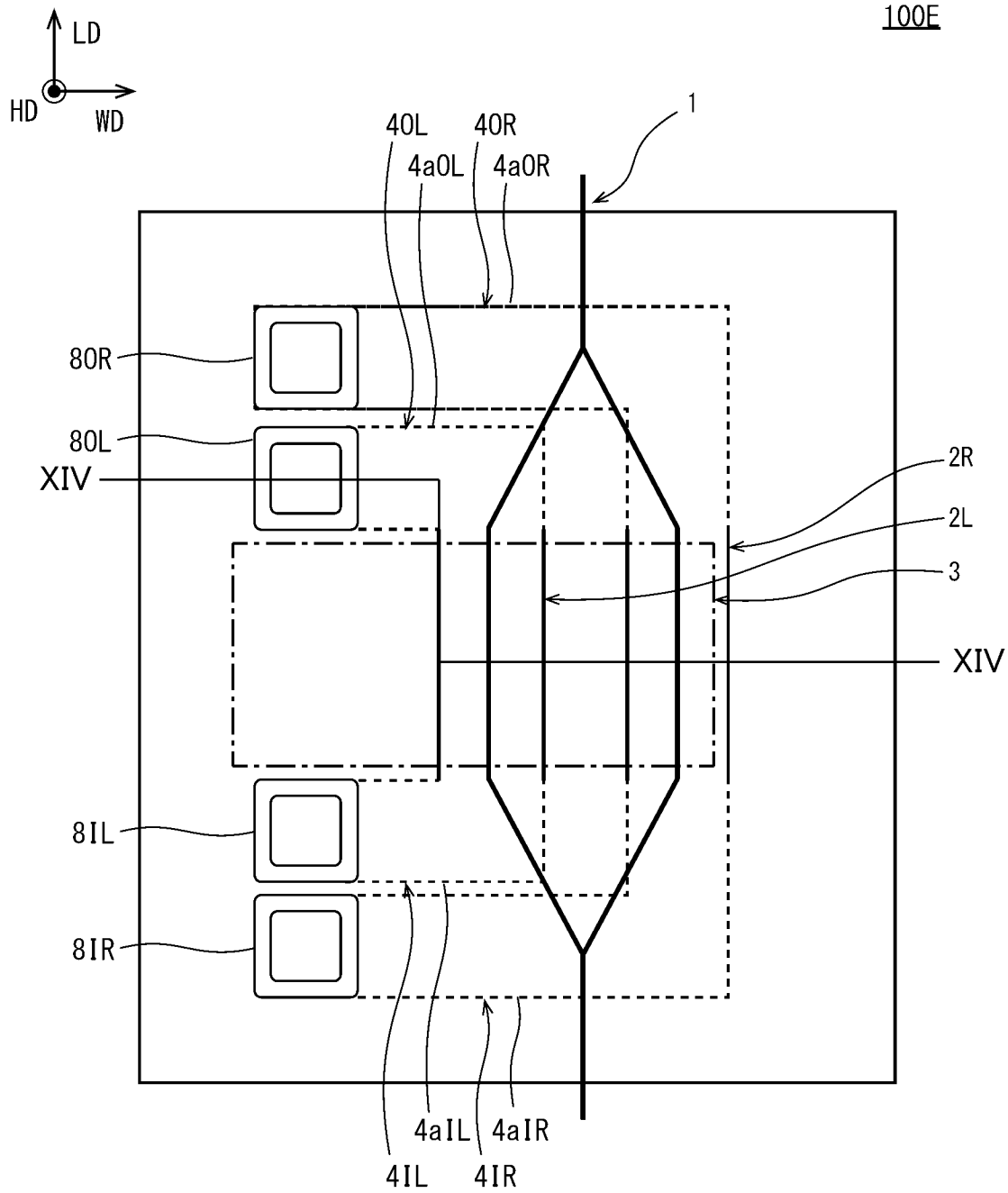


FIG. 13

[FIG. 16]

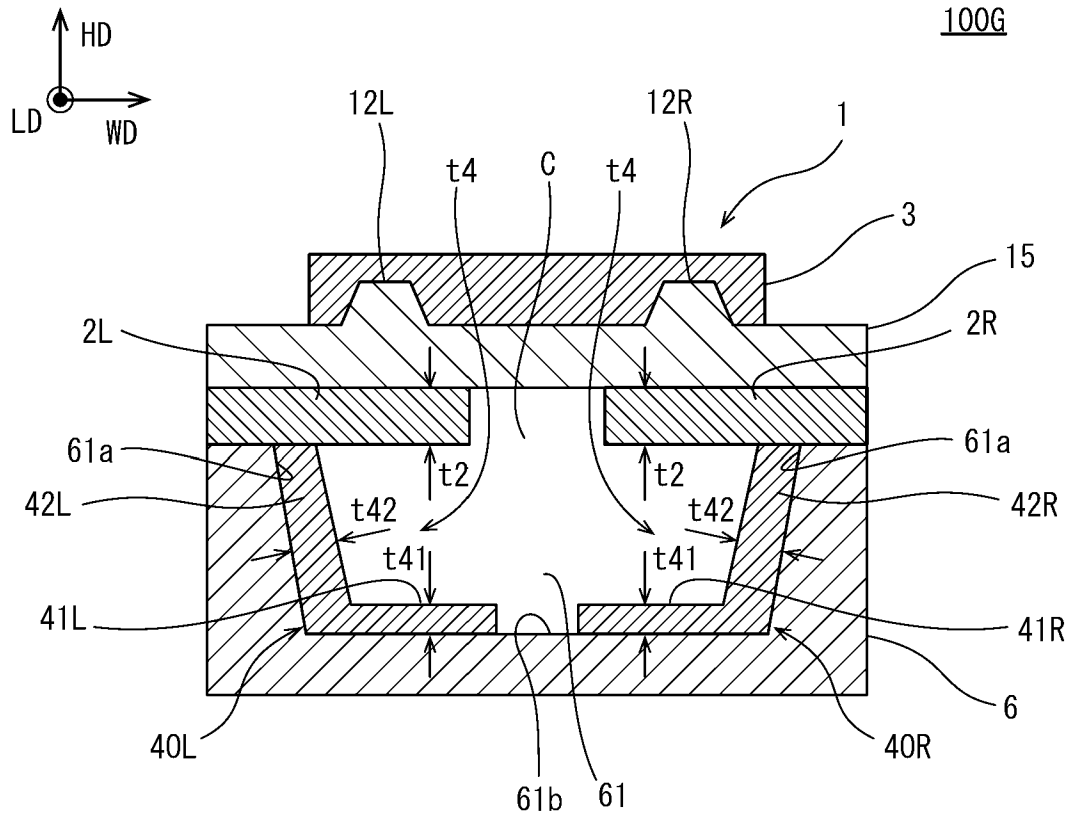


FIG. 16

[FIG. 17]

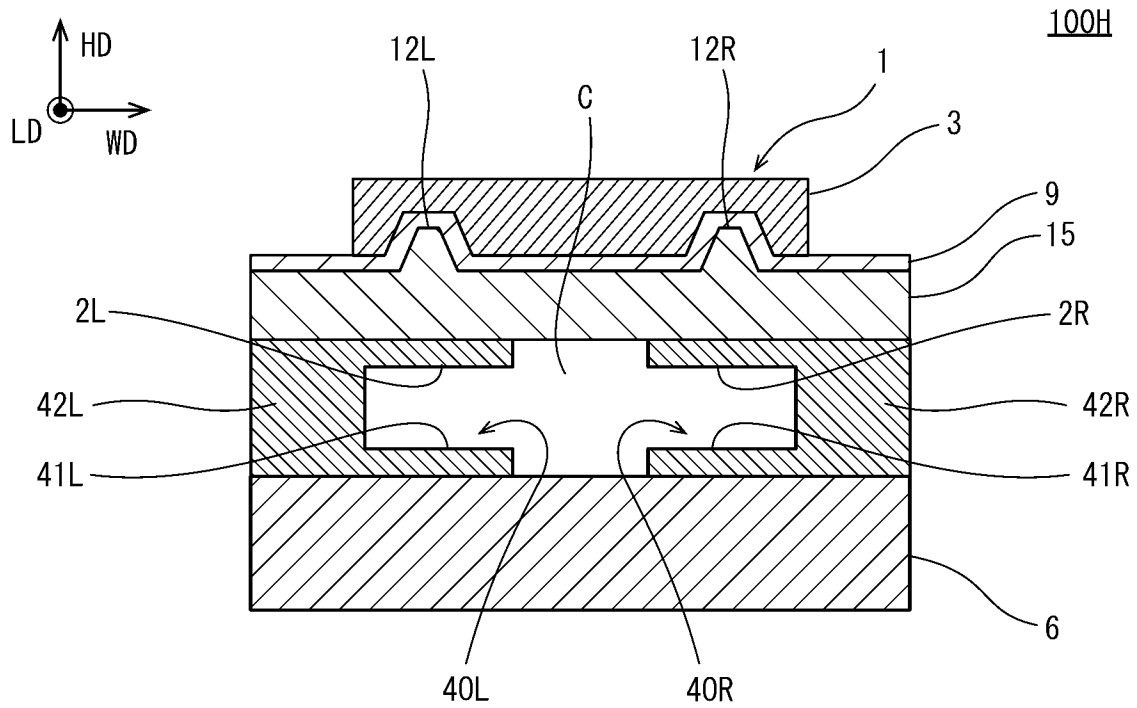
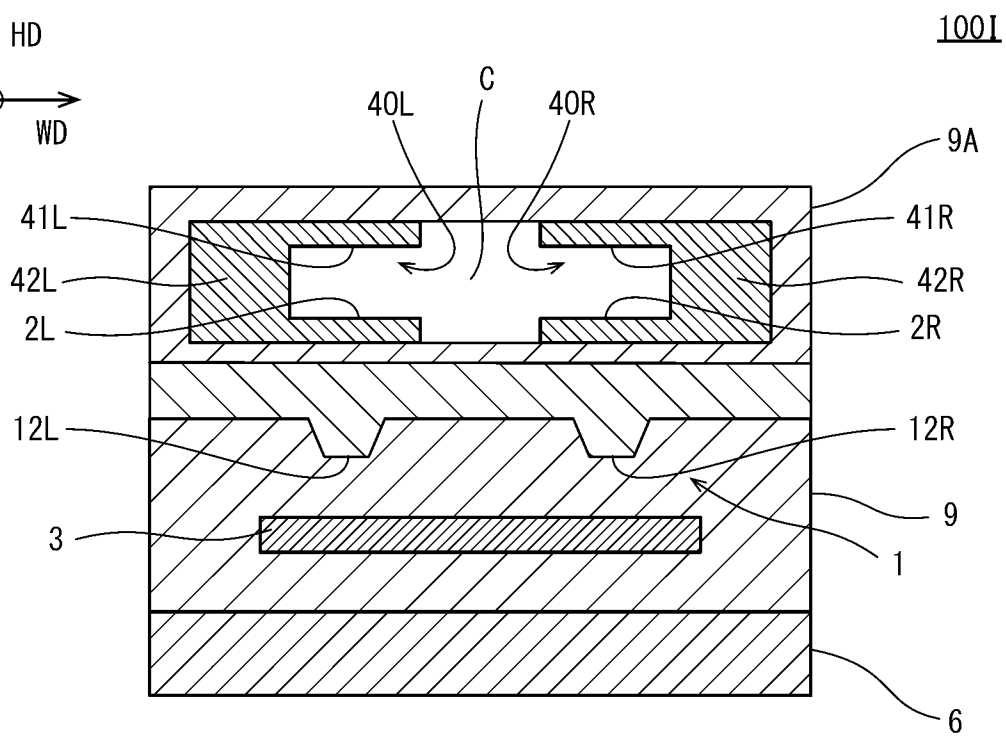
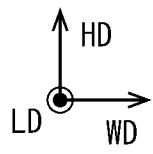


FIG. 17



[FIG. 22]



100J

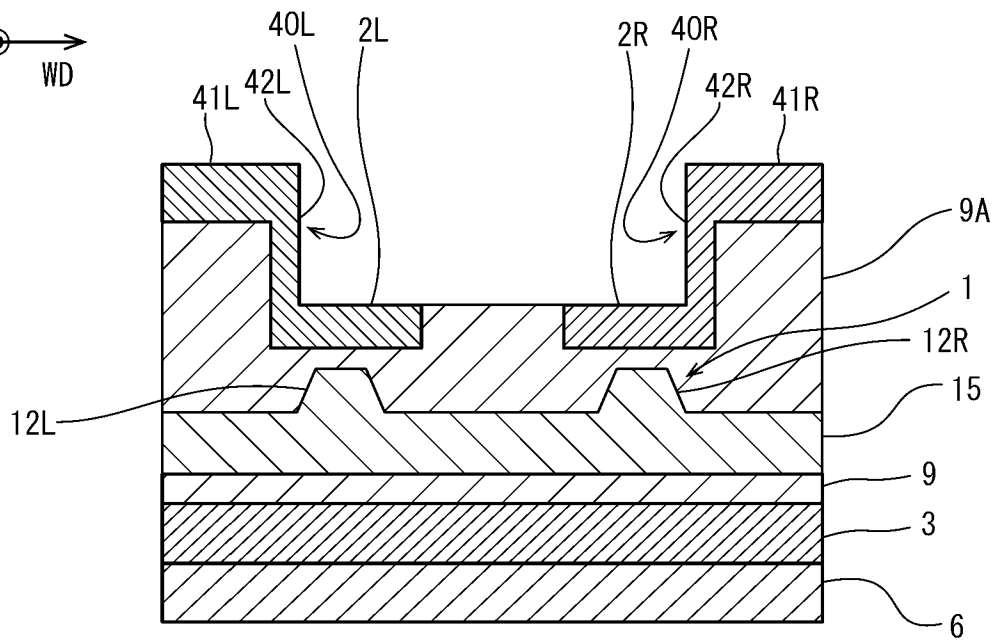


FIG. 22

[FIG. 23A]

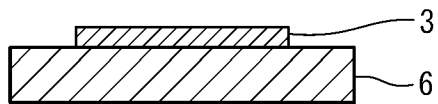


FIG. 23A

[FIG. 23B]

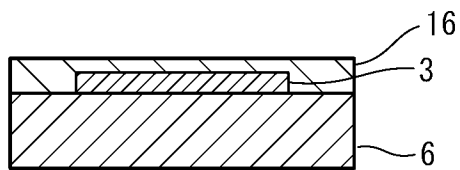


FIG. 23B

[FIG. 23C]

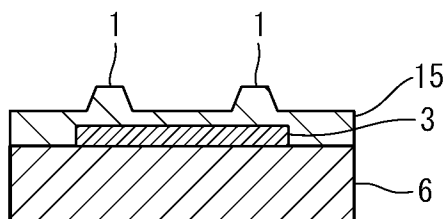


FIG. 23C

[図23D]

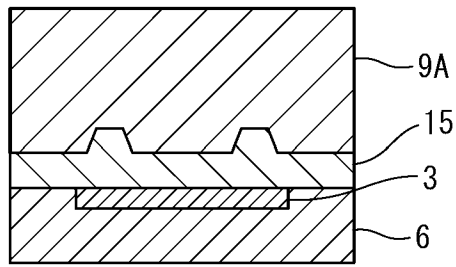


FIG. 23D

[図23E]

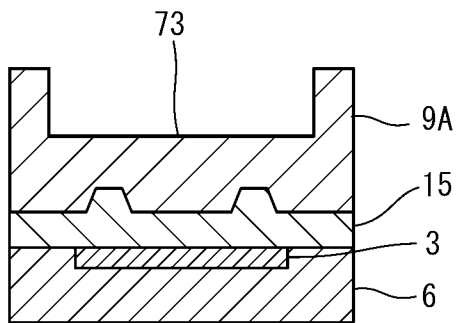


FIG. 23E

[図23F]

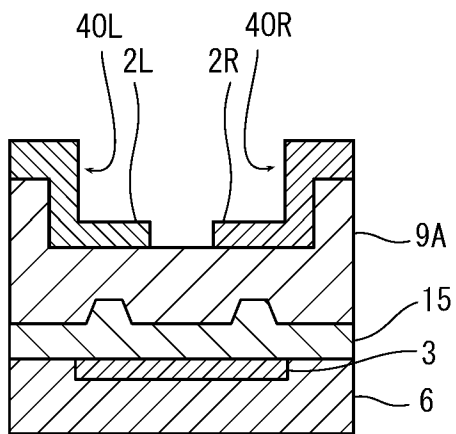


FIG. 23F

[図24A]

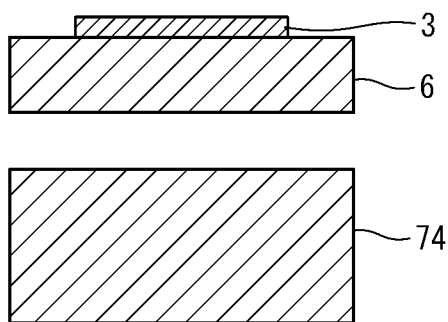


FIG. 24A

[図24B]

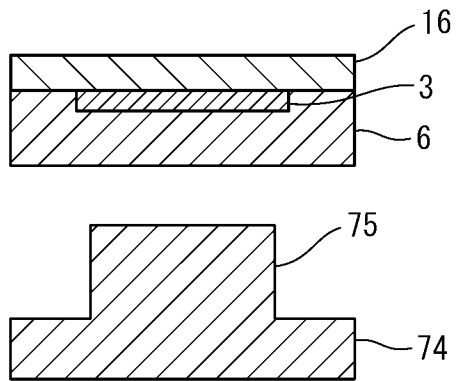


FIG. 24B

[図24C]

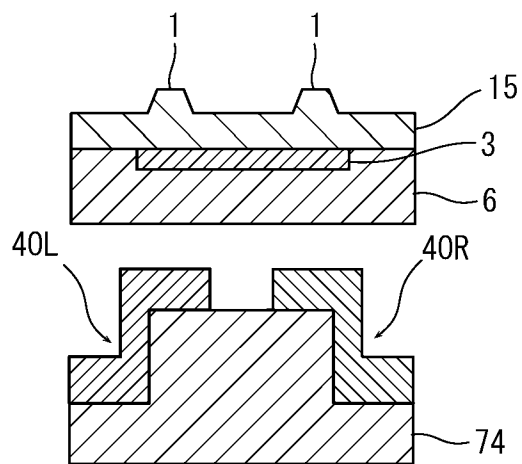


FIG. 24C

[図24D]

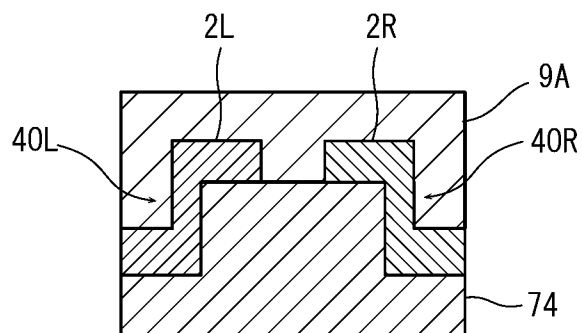


FIG. 24D

[図24E]

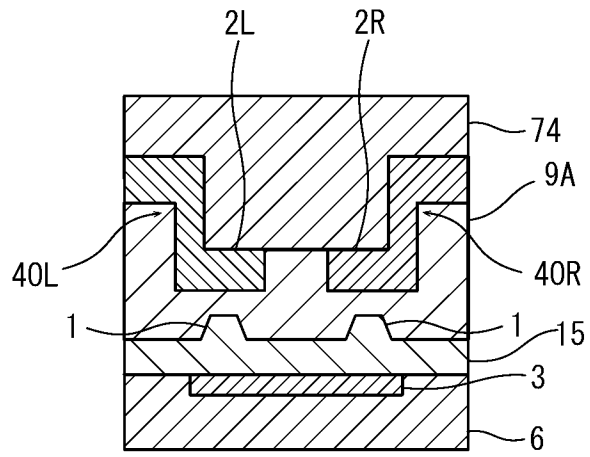


FIG. 24E

[図24F]

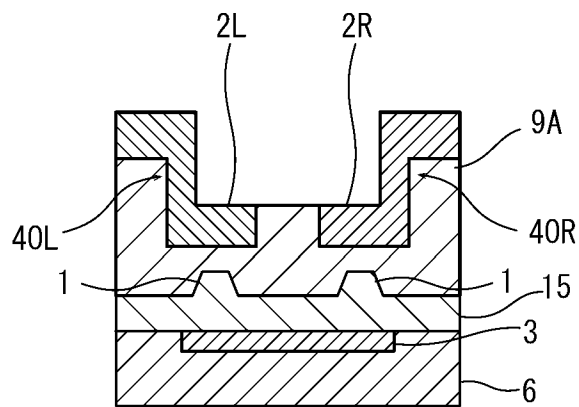


FIG. 24F

[図25A]

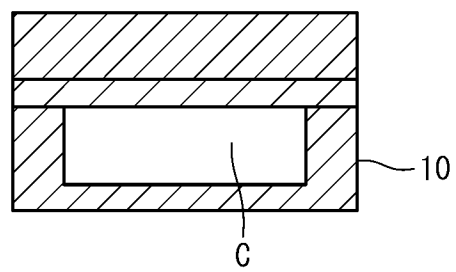


FIG. 25A

[図25B]

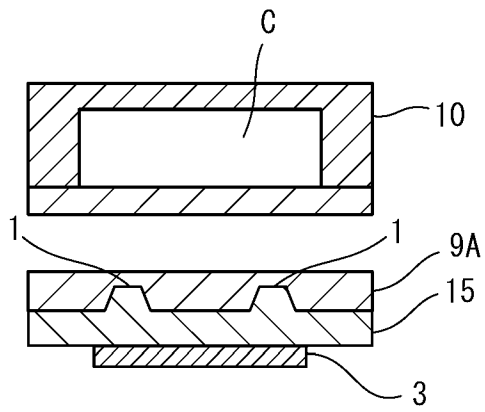


FIG. 25B

[図25C]

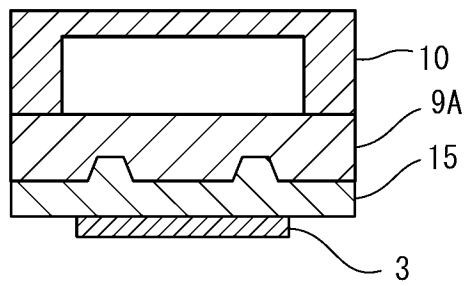


FIG. 25C

[図25D]

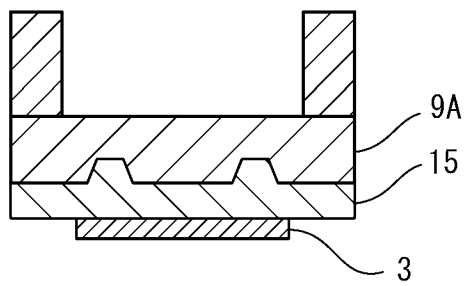


FIG. 25D

[図25E]

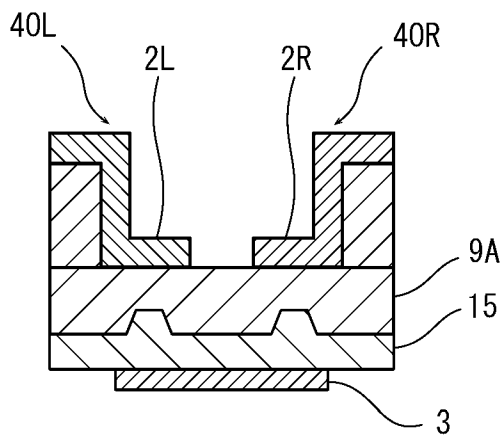


FIG. 25E

[図26]

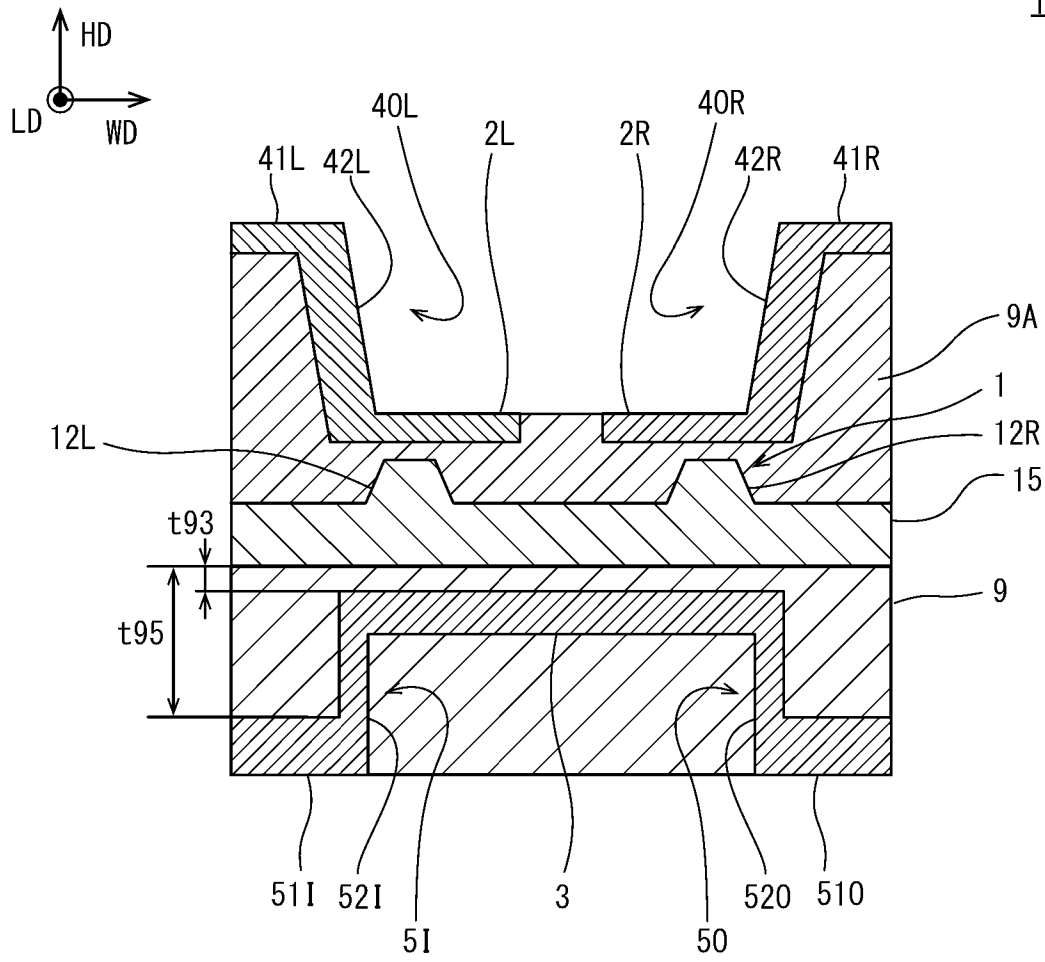
100K

FIG. 26

[図27]

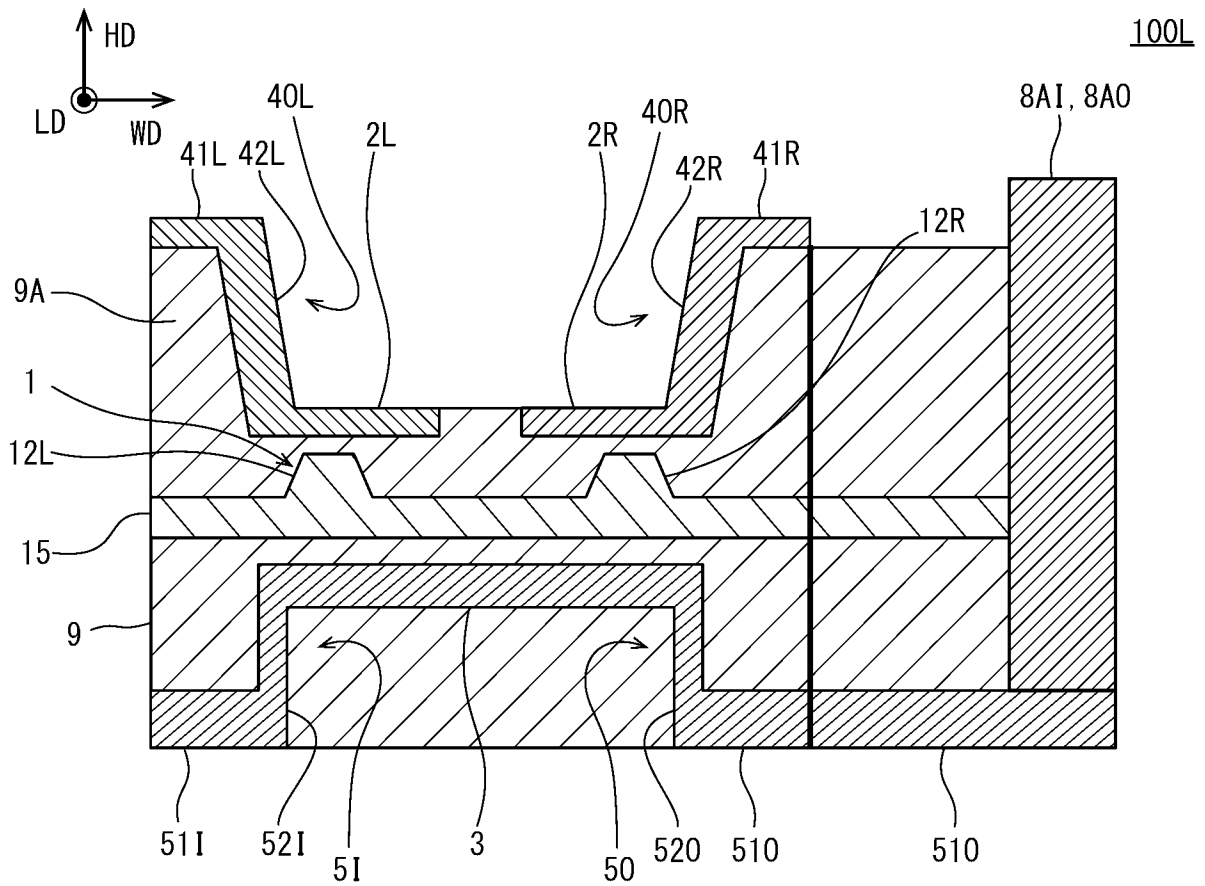


FIG. 27

[図28]

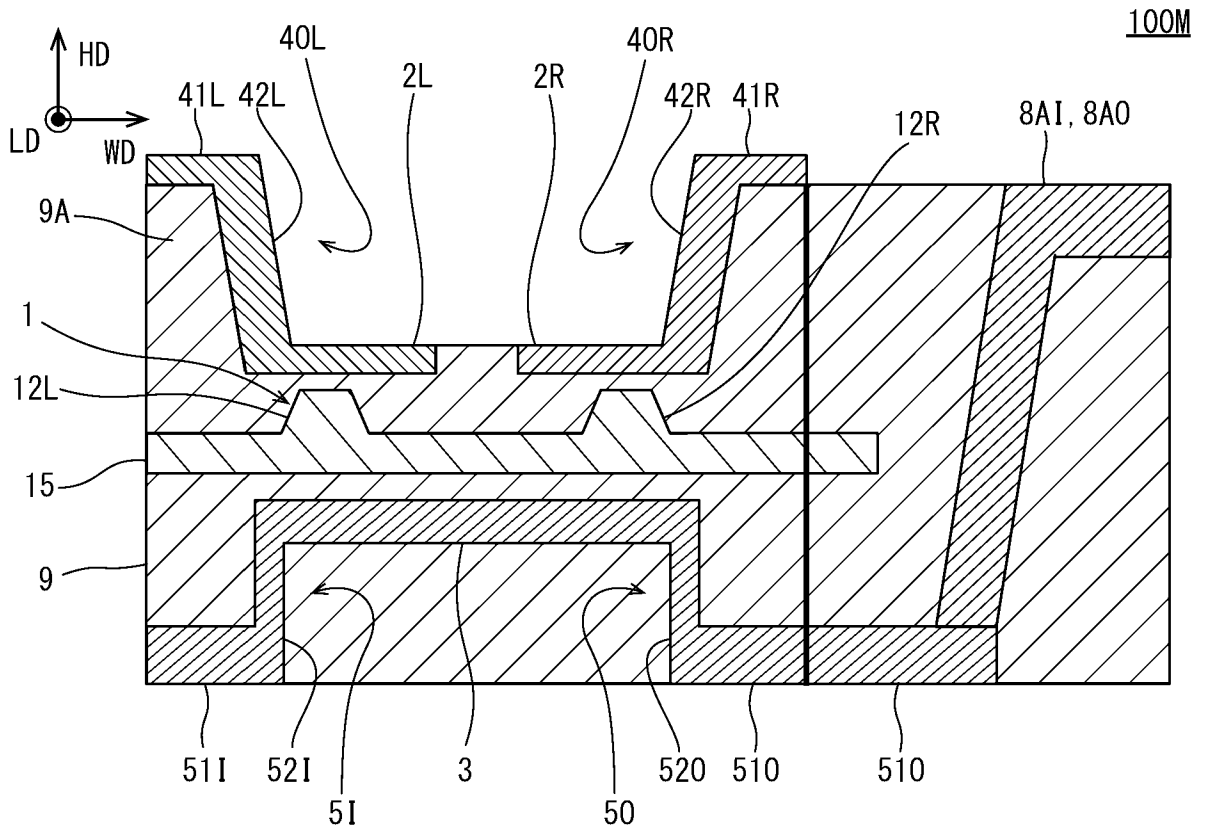


FIG. 28

[図29]

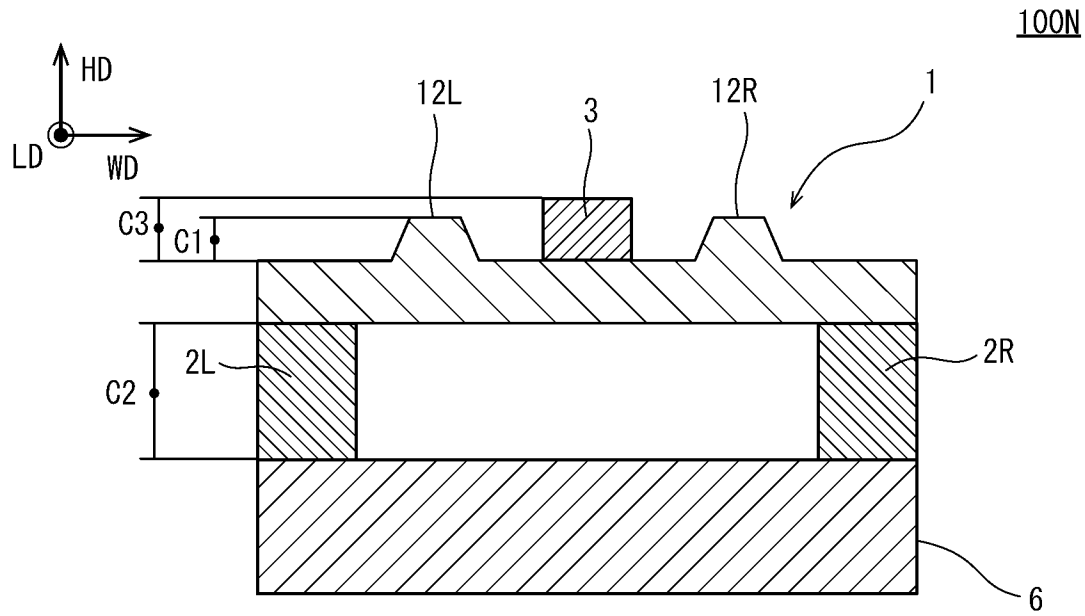


FIG. 29

[図30]

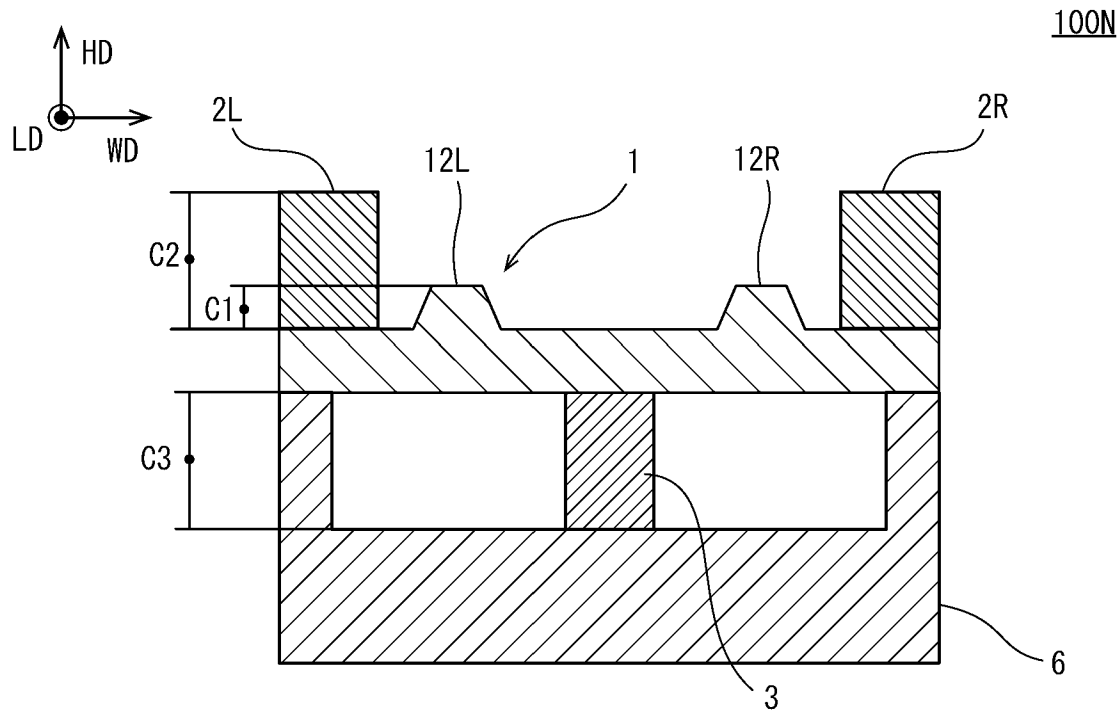


FIG. 30

[図31]

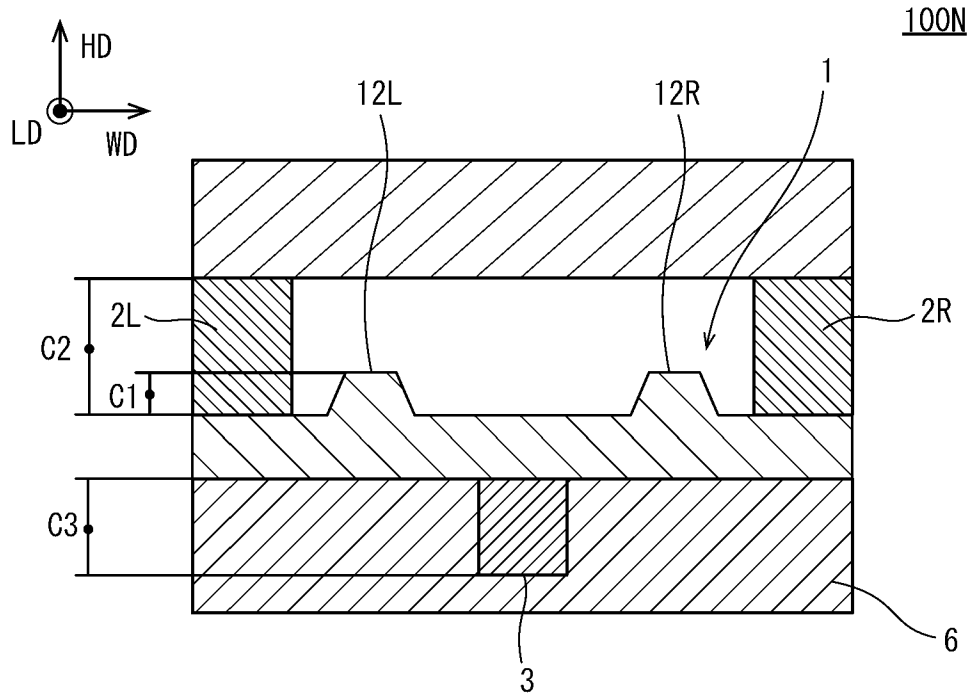


FIG. 31

[図32]

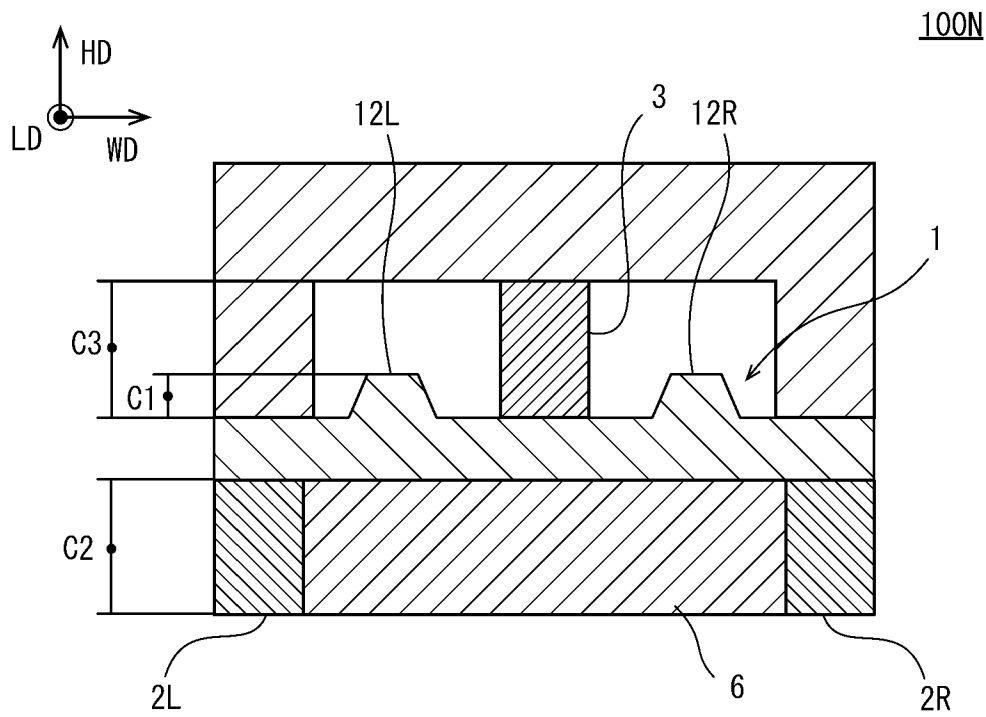


FIG. 32

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/042864

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02F 1/035**(2006.01)i; **G02B 6/12**(2006.01)i

FI: G02F1/035; G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; G02B6/12-6/14

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 2014-191250 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 06 October 2014 (2014-10-06) paragraphs [0025]-[0044], fig. 1-4	1-2, 4-5, 9, 14-16
A		3, 6-8, 10-13, 17-21
A	JP 06-130338 A (FUJITSU LIMITED) 13 May 1994 (1994-05-13) entire text, all drawings	1-21
A	JP 2009-139843 A (FUJI XEROX CO., LTD.) 25 June 2009 (2009-06-25) entire text, all drawings	1-21
A	JP 2016-029469 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LTD.) 03 March 2016 (2016-03-03) entire text, all drawings	1-21
A	JP 2020-056927 A (THE JAPAN STEEL WORKS, LTD.) 09 April 2020 (2020-04-09) entire text, all drawings	1-21



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

08 February 2024

Date of mailing of the international search report

20 February 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/042864**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2022-148652 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 06 October 2022 (2022-10-06) entire text, all drawings	1-21
A	US 2014/0341496 A1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 20 November 2014 (2014-11-20) entire text, all drawings	1-21
A	WO 2021/201132 A1 (TDK CORPORATION) 07 October 2021 (2021-10-07) entire text, all drawings	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/042864

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2014-191250	A	06 October 2014	(Family: none)	
JP	06-130338	A	13 May 1994	(Family: none)	
JP	2009-139843	A	25 June 2009	US 2009/0148111	A1
				entire text, all drawings	
JP	2016-029469	A	03 March 2016	US 2016/0011439	A1
				entire text, all drawings	
JP	2020-056927	A	09 April 2020	US 2020/0110291	A1
				entire text, all drawings	
JP	2022-148652	A	06 October 2022	US 2022/0308418	A1
				entire text, all drawings	
				EP 4063943	A1
				CN 115128846	A
US	2014/0341496	A1	20 November 2014	KR 10-2014-0135014	A
WO	2021/201132	A1	07 October 2021	US 2023/0124507	A1
				CN 113467110	A
				JP 2023-522151	A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/035(2006.01)i; G02B 6/12(2006.01)i FI: G02F1/035; G02B6/12		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00; G02B6/12-6/14 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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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 A	JP 2014-191250 A（住友大阪セメント株式会社）06.10.2014（2014-10-06） 段落[0025]-[0044], 図1-4	1-2, 4-5, 9, 14-16 3, 6-8, 10-13, 17-21
A	JP 06-130338 A（富士通株式会社）13.05.1994（1994-05-13） 全文, 全図	1-21
A	JP 2009-139843 A（富士ゼロックス株式会社）25.06.2009（2009-06-25） 全文, 全図	1-21
A	JP 2016-029469 A（住友電気工業株式会社）03.03.2016（2016-03-03） 全文, 全図	1-21
A	JP 2020-056927 A（株式会社日本製鋼所）09.04.2020（2020-04-09） 全文, 全図	1-21
A	JP 2022-148652 A（住友大阪セメント株式会社）06.10.2022（2022-10-06） 全文, 全図	1-21
☒ 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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 08.02.2024	国際調査報告の発送日 20.02.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 大西 孝宣 2L 6006 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

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
A	US 2014/0341496 A1 (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 20.11.2014 (2014 - 11 - 20) 全文, 全図	1-21
A	WO 2021/201132 A1 (TDK CORPORATION) 07.10.2021 (2021 - 10 - 07) 全文, 全図	1-21

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/042864

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2014-191250	A	06.10.2014	(ファミリーなし)	
JP	06-130338	A	13.05.1994	(ファミリーなし)	
JP	2009-139843	A	25.06.2009	US 2009/0148111	A1
				全文, 全図	
JP	2016-029469	A	03.03.2016	US 2016/0011439	A1
				全文, 全図	
JP	2020-056927	A	09.04.2020	US 2020/0110291	A1
				全文, 全図	
JP	2022-148652	A	06.10.2022	US 2022/0308418	A1
				全文, 全図	
				EP 4063943	A1
				CN 115128846	A
US	2014/0341496	A1	20.11.2014	KR 10-2014-0135014	A
WO	2021/201132	A1	07.10.2021	US 2023/0124507	A1
				CN 113467110	A
				JP 2023-522151	A