

(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
2020年8月27日(27.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/170871 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/015 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/004954
- (22) 国際出願日: 2020年2月7日(07.02.2020)
- (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 2019-027712 2019年2月19日(19.02.2019) JP
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 高橋 雅之 (TAKAHASHI Masayuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 都

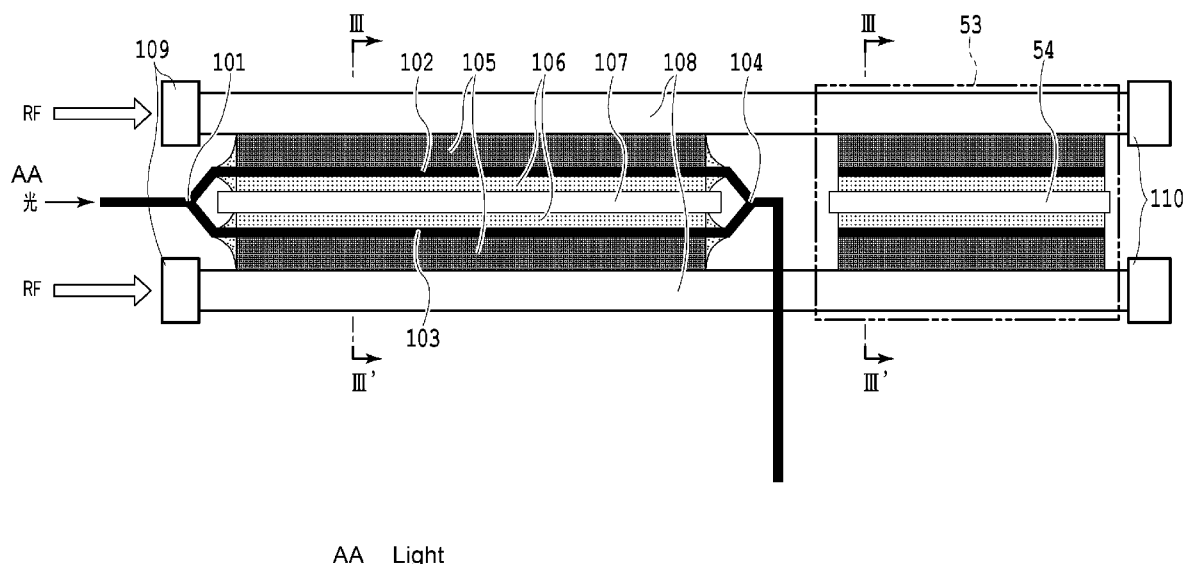
築 健 (TSUZUKI Ken); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 伊藤 敏洋 (ITO Toshihiro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 菊池 清史 (KIKUCHI Kiyofumi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 谷・阿部特許事務所 (TANI & ABE, P.C.); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6番20号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,

(54) Title: OPTICAL MODULATOR

(54) 発明の名称: 光変調器



(57) Abstract: The present invention provides an optical modulator in which the amount of ripple is reduced. This Mach-Zehnder optical modulator is provided with: a phase modulation unit provided with an optical waveguide (102, 103) having a PN junction structure, and a traveling wave electrode (108); and a dummy phase modulation unit (53) provided with an optical waveguide that has a traveling wave electrode portion formed longer than the phase modulation unit in the optical propagation direction of the phase modulation unit, and the same PN junction structure as the optical waveguide of the phase modulation unit, and is not connected to the optical waveguide of the phase modulation unit.

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,
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, 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：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：リップル量を低減させた光変調器を提供する。マッハツェンダ光変調器において、PN接合構造を有する光導波路(102, 103)、及び進行波電極(108)を備えた位相変調部と、位相変調部の光伝搬方向に当該位相変調部よりも長く形成された進行波電極の部分、及び位相変調部の光導波路と同じPN接合構造を有し、位相変調部の光導波路と接続されない光導波路を備えたダミー位相変調部(53)とを備えた。

明 細 書

発明の名称：光変調器

技術分野

[0001] 本発明は、光変調器に関し、より詳細には、光伝送信号の品質の高い変調が可能な光変調器に関する。

背景技術

[0002] インターネットを基盤とするサービスの爆発的な進展に伴い、これを支える光通信の大容量化、低電力化への期待はますます高まっている。光通信を行う為には、光信号を送信する光変調機が必要である。

[0003] マッハツェンダ光変調器は、入力側の光導波路に入射した光を2つの光導波路（アーム光導波路）に1：1の強度で分岐し、分岐した光を一定の長さ伝播させた後に、再度合波させて出力する構造を持つ。2つに分岐された光導波路に設けられた位相変調部により、2つの光の位相を変化させることで、合波されるとき光の干渉条件を変え、出力光の強度や位相を変調することができる。マッハツェンダ光変調器は、波長依存性が小さく、原理的に波長チャープ成分が無く、さらに高速であることからメトロ間距離以上の中・長距離光通信に広く用いられている。

[0004] 位相変調部の光導波路を構成する材料としては、 LiNbO_3 等の誘電体、 InP 、 GaAs 、 Si （シリコン）等の半導体を用いられ、これらの光導波路近傍に配置された電極に変調電気信号を入力して光導波路に電圧を印加することで、光導波路を伝搬する光の位相を変化させる。特に Si を光導波路として用いた場合には、マッハツェンダ光変調器に加え、 Si 基板上に結晶成長が可能な Ge （ゲルマニウム）を用いたフォトダイオードや、 Si 光導波路を用いた方向性結合器や、Y字スプリッタ等のパッシブ光回路等と一括して集積が可能である。そのため、光通信の送受に必要なデバイス群をワンチップ化し小型化が可能であることから、次世代の光送信機、受信機、及び光送受信機への応用に向け、近年研究・開発が盛んに行われている。

- [0005] 例えば、Si光変調器はSi基板の表面を熱酸化した酸化膜（Buried Oxide：BOX）層上にSiの薄膜を張り付けたSOI（Silicon on Insulator）基板から構成され、SOI層を光が導波できるようSi薄膜を細線に加工した後、p型又はn型の半導体となるようドーパントを注入し、光のクラッド層となるSiO₂の堆積、電極の形成等を行い作製する。このとき、光の導波路は光損失が小さくなるように設計・加工する必要がある、p型又はn型のドーピング及び電極の作製は、光の損失発生を小さく抑えるとともに、高速電気信号の反射や損失を小さく抑えるように設計・加工する必要がある。
- [0006] 図1に、従来のSi光変調器の基本となるラテラル型のPN接合を持つ光位相変調部の光導波路の断面構造図を示す。図1では、光は紙面垂直方向に伝搬するものとする。このSi光変調器の位相変調部は、上下のSiO₂クラッド層1、3に挟まれたSi層2で構成され、図中央の光を閉じ込めるためのSi細線は、厚さに差があるリブ導波路と呼ばれる構造を取っている。
- [0007] 図1のSi層2の中央の厚い部分を導波路コア20として、周囲のSiO₂クラッド層1及び3との屈折率差を利用して紙面垂直方向に伝搬する光を閉じ込める光導波路7を構成する。
- [0008] 光導波路7の両側のスラブ領域21に高濃度p型半導体層22、高濃度n型半導体層23が設けられ、更に光導波路7のコア中央部には中濃度p型半導体層24、中濃度n型半導体層25によるpn接合構造が形成されて、図1の左右両端より変調電気信号とバイアスが印加されている。中濃度p型半導体層24、中濃度n型半導体層25によるpn接合構造は間にドーピングされていないi型（真性）半導体を挟んだpin構造としても良い。
- [0009] なお、以下同様であるが半導体デバイスにおいて、一般的に、濃度に関わらずp型半導体及びn型半導体の一方を任意的に第1の極性を持つ領域、他方を第2の極性を持つ領域とすることができる。
- [0010] 図1に図示は無いが、両端の高濃度半導体層22及び23に接する金属電極（風図示）を設け、金属電極よりpn接合部に、RF（高周波）の変調電

気信号とともに逆バイアス電界（図1では右から左）を印加する。これにより光導波路コア20の内部のキャリア密度を変化させ、光導波路の屈折率を変えること（キャリアプラズマ効果）で、光の位相を変調することができる。

[0011] 導波路寸法はコア／クラッドとなる材料の屈折率に依存するため、一意には決定できないが、図1のような光導波路コア20と両側のスラブ領域21を備えるリブ型シリコン導波路構造とした場合の一例を挙げると、導波路は、コアが幅400～600（nm）×高さ150～300（nm）、スラブは厚さ50～200（nm）で長さ数（mm）程度になる。

[0012] 大容量な光通信を行うためには、高速な光変調器が必要である。10 Gbps以上の帯域を持つ広帯域なマッハツェンダ光変調器として、進行波電極型マッハツェンダ光変調器がある。進行波電極は、変調電気信号（マイクロ波、高周波信号）と光導波路を伝播する光（光波）との速度を整合（位相速度整合）させ、電気信号を伝搬させながら光と相互作用を行う電極である。例えば、非特許文献1は、長さ数ミリメートル程度の進行波型電極を用いたSiマッハツェンダ光変調器の報告例である。

[0013] 図2に、一般的な進行波電極型マッハツェンダ光変調器を示す。また、図3に、図2の断面線I-I'における進行波電極型マッハツェンダ光変調器の断面構造を示す。進行波電極型マッハツェンダ光変調器は、入力光カプラ（またはY字スプリッタ）101と、それより2分岐された入力光を導波する1対2本の並行する第1の導波路102及び第2の導波路103と、それらの出力光を結合する出力光カプラ104とを備える。

[0014] 導波路102及び103は、図1を参照して上述した光位相変調部に関する説明のとおり、リブ導波路であり、紙面上下方向に第1の極性を持つ領域105及び第2の極性を持つ領域106に分かれた光位相変調部を構成する。第1の導波路102及び第2の導波路103の位相変調部の第1の極性を持つ領域または第2の極性を持つ領域のいずれかは導波路102及び103に囲まれる領域に形成されている。図2では、第2の極性を持つ領域106

が、導波路 102 及び 103 に囲まれる領域に形成されている場合を示している。一方で、第 1 の極性を持つ領域 105 は、第 2 の極性を持つ領域 106 に対して、それぞれの位相変調部の光進行方向を軸として反対方向に形成されている。

[0015] 第 2 の極性を持つ領域 106 には、金属のバイアス電極 107 が設けられ、紙面上下方向に 2 つある第 1 の極性を持つ領域 105 には、進行波電極 108 がそれぞれ設けられている。

[0016] Si 光変調器の場合は、PN 接合が逆バイアス状態でなければ、変調速度の劣化を招く。そのため、金属のバイアス電極 107 は、1 対の進行波電極 108 それぞれがどのようなバイアス状態であっても、PN 接合が逆バイアス状態となるような電圧を印可される。そして、進行波電極 108 に対して、紙面左方向から差動の電圧を高周波変調電気信号（RF 信号）として印可することで、光の変調を行う。

[0017] 通常、進行波電極 108 には、変調器を駆動する為のドライバからの出力信号をワイヤボンディング等で接続する為の、入力側パッド 109 が設けられる。また、インピーダンス整合をさせ、高周波信号を終端させる為の終端抵抗と接続するための、出力側パッド 110 が設けられる。

[0018] 図 4 に、ドライバ 50 及び終端抵抗 51 とマッハツェンダ光変調器とを組み合わせた接続図を示す。マッハツェンダ光変調器の進行波電極 108 は、終端抵抗 51 を介して端子 516（電源の電位）に接続される。ドライバ 50 の出力インピーダンス R_{out} 、光変調器の進行波電極 108 の特性インピーダンス Z 、及び終端抵抗 51 の抵抗値 R_{term} がそれぞれ等しければ、インピーダンスマッチングがとれており、ドライバ 50 から出力された信号は、反射することなく、終端抵抗 51 で終端され、最も良い光変調器の高周波特性が期待できる。そのため、一般的には、 R_{out} 、 Z 、及び R_{term} の値がそれぞれ等しくなるように設計する。

先行技術文献

非特許文献

[0019] 非特許文献1: David Patel, Samir Ghosh, Mathieu Chagnon, Alireza Samani, Venkat Veerasubramanian, Mohamed Osman, and David V. Plant, "Design, analysis, and transmission system performance of a 41 GHz silicon photonic modulator", Opt. Express vol.23, no.11, pp.14263-14275, 2015.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0020] 図4において、マッハツェンダ光変調器と R_{out} 、 Z 、及び R_{term} の値がそれぞれ違う場合には、インピーダンスマッチングが取れていない為に、マッハツェンダ光変調器の高周波特性が劣化する。例えば、 R_{out} はドライバの設計に依存し、 Z は変調器の設計に依存するが、ドライバとマッハツェンダ光変調器をそれぞれの小型化を求めた場合のサイズの制約や、それぞれの特性を最大化する為に、 R_{out} と Z が異なることがある。また、 R_{term} がプロセスばらつきや、部材としてのばらつきによって、理想値から外れてしまう場合も起こりうる。さらには、 Z は一般的に周波数特性を持つため、すべての周波数で、 $R_{out} = Z = R_{term}$ となるように設計することは事実上不可能である。

[0021] 図5に、 R_{out} 、 Z 、及び R_{term} の値をそれぞれ変えた場合のマッハツェンダ光変調器のEO(光出力)特性を示す。図5では、 Z を基準として、 R_{out} が Z より概ね $150\ \Omega$ 程度高い場合に、 R_{term} の値を Z と同じ値とした場合、 Z より ± 5 、 $\pm 10\ \Omega$ 変化させた場合を示している。 R_{out} 、 Z 、及び R_{term} の不一致が大きくなればなるほど、周波数特性に大きなリップルを生じさせることが分かる。このような、リップルが大きい特性を持つマッハツェンダ光変調器を用いて、光変調を行った場合には、送信信号の品質が劣化する。そのため、極力リップルが小さくなるように設計すべきであるが、前述の理由から、リップルを完全になくすことは難しい。

[0022] 特に、ドライバの出力抵抗を持たず、マッハツェンダ光変調器とのインピーダンスマッチングを行わないオープンコレクタ型のドライバやオープンドレイン型のドライバを用いた場合には、 Z と R_{term} の不一致により生じ

た反射信号が、ドライバの出力端でほぼ減衰せずに反射する為、 Z と R_{term} のわずかな不一致が、リップル量が増大しやすく、送信信号の品質の劣化を招いてしまう。

[0023] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、変調特性に影響を与えず、リップル量を低減させた光変調器を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0024] このような目的を達成するために、本発明の態様は、基板上に形成され、少なくともひとつの光入力と、少なくともひとつの光出力と、少なくともひとつの位相変調部を備えた光変調器である。一実施形態に係る光位相変調器は、位相変調部が、PN接合構造を有する光導波路と、変調用の高周波信号を印加して、光導波路を伝播する光が同一方向に伝搬しながら相互作用する進行波電極とを備え、進行波電極が、位相変調部の光伝搬方向に、当該位相変調部よりも長く形成され、減衰領域を構成する。減衰領域はダミー位相変調部であり、当該ダミー位相変調部が、進行波電極の位相変調部よりも長く形成された部分と、位相変調部の光導波路と同じPN接合構造を有し、位相変調部の光導波路と接続されない光導波路とを備える。

[0025] 本発明の別の態様は、上記光変調器を備えた光送信器である。

発明の効果

[0026] 以上説明したように、本発明によれば、光変調器が有する進行波電極の構造により、リップルを減少させる領域を持たせることで、EO帯域特性の劣化や、光出力強度の劣化を招かずに、リップル量のみを低減させ、送信信号の品質を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1] Si マッハツェンダ光変調器の位相変調部の断面図である。

[図2] 従来の進行波電極型マッハツェンダ光変調器の上面の概略図である。

[図3] 従来の進行波電極型マッハツェンダ光変調器の断面の概略図である。

[図4] (a) は、ドライバ、進行波電極型マッハツェンダ光変調器、及び終端

抵抗を接続した状態の概略上面図であり、（b）は側面図である。

[図5]従来の進行波電極型マッハツェンダ光変調器を用いた際のE O特性である。

[図6]本発明の一実施形態に係る進行波電極型マッハツェンダ光変調器の概略図である。

[図7]本発明の一実施形態に係る進行波電極型マッハツェンダ光変調器のE O特性である。

[図8]本発明の一実施形態に係る進行波電極型マッハツェンダ光変調器の概略図である。

[図9]本発明の一実施形態に係る進行波電極型マッハツェンダ光変調器の概略図である。

[図10]本発明の一実施形態に係る進行波電極型マッハツェンダ光変調器の概略図である。

[図11]（a）は、ドライバ及び本発明の一実施形態に係る進行波電極型マッハツェンダ光変調器を接続した状態の概略図上面図であり、（b）は側面図である。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。同一または類似の符号は、同一または類似の要素を示し、繰り返しの説明は省略する。以下の説明における数値例や材料名は例示であり、本願発明は、これに限定されるものではなく、他の数値や材料で実施することができる。

[0029] （実施形態1）

図6は、本発明の第1の実施形態に係るマッハツェンダ光変調器の構成を示す平面図である。本実施形態のマッハツェンダ光変調器は、図2に示した従来例のマッハツェンダ光変調器の構成を改良した構成を有する。図6に示す光変調器は、入力光カプラ101と、それより2分岐された入力光を導波する1対2本の並行する第1の導波路102及び第2の導波路103と、それらの出力光を結合する出力光カプラ104を備える。入力光は、入力光カ

プラ 101 の入力ポートに接続された直線導波路または曲げ導波路を介して入力され、また、出力光カプラ 104 の出力ポートに接続された直線導波路または曲げ導波路を介して出力される。

[0030] 導波路 102 及び 103 は、リブ導波路であり、紙面上下方向に第 1 の極性を持つ領域 105 及び第 2 の極性を持つ領域 106 に分かれている。図 6 では、第 1 の導波路 102 及び第 2 の導波路 103 の位相変調部の第 2 の極性を持つ領域 106 は導波路 102 及び 103 に囲まれる領域に形成されている。一方で、導波路 102 及び 103 の第 1 の極性を持つ領域は、第 2 の極性を持つ領域 106 に対して、それぞれの位相変調部の光進行方向を軸として反対方向に形成されている。

[0031] そして、第 2 の極性を持つ領域 106 には、金属のバイアス電極 107 が設けられ、紙面上下方向に 2 つある第 1 の極性を持つ領域 105 には、進行波電極 108 がそれぞれ設けられている。通常、進行波電極 108 には、変調器を駆動する為のドライバからの出力信号をワイヤボンディング等で接続する為の、入力側パッド 109 が設けられる。また、インピーダンス整合をさせ、高周波信号を終端させる為の終端抵抗と接続するための、出力側パッド 110 が設けられる。

[0032] 図 2 に示した従来例の光変調器と異なる点は、図 6 の光変調器は、進行波電極 108 が位相変調部に比べて、位相変調部の光伝搬方向に向かって、位相変調部よりも長いことにある。進行波電極 108 は一般的に、高周波を伝搬させた場合に減衰させる特性をもつ。このため、図 4 において、ドライバ 50 及び終端抵抗 51 と接続されたマッハツェンダ光変調器を、図 6 のマッハツェンダ光変調器と置き換えた場合には、 R_{out} と R_{term} の間の多重反射を減らすことができる。このため、リップルを減らし、送信信号の品質を高めることができる。

[0033] 図 7 は、図 2 の従来例の光変調器と、図 6 の光変調器の E_O (光出力) 特性を示す。図 6 の光変調器では、 R_{term} の値が Z よりも $10\ \Omega$ 高い場合にも、リップル量を抑えることができていることがわかる。なお、図 7 は、

位相変調部よりも後半の領域(減衰領域)における進行波電極の特性が、10 GHzで3 dB程度の減衰をもつような場合を一例として計算した例である。

[0034] また減衰領域は、位相変調部の光伝搬方向に位相変調部よりも後半に設ける必要がある。これにより、入力側パッド109を通じてドライバから入力された高周波電気変調信号が位相変調部を伝搬し光変調作用を得た後で、減衰領域で高周波信号が減衰し、出力側パッド110を通じて終端抵抗で終端される。このため、本実施形態の光変調器は、従来の光変調器と同等の光変調効果を得て、リップルを減らし、送信信号の品質を高めることができる。減衰領域を、位相変調部の光伝搬方向に位相変調部よりも前半に設けた場合には、入力側パッド109を通じてドライバから入力された高周波電気変調信号が減衰領域で減衰した後に位相変調部を伝搬し光変調作用を得ることとなるため、変調性能を損なう原因となる。

[0035] (実施形態2)

図6に示す光変調器においては進行波電極108について、位相変調部と減衰領域で同じ形状としたが、位相変調部と減衰領域で形状を変化させても良い。一般的に、変調器において、進行波電極に位相変調部を装荷した場合には(Siマッハツェンダ変調器においては、位相変調部としてPN接合を用いる)、インピーダンスが下がる。このため、位相変調部と減衰領域とのインピーダンスのマッチングとる必要がある。

[0036] 図8は、本発明の第2の実施形態に係るマッハツェンダ光変調器の構成を示す平面図である。本実施形態の光変調器は、入力光カプラ101と、それより2分岐された入力光を導波する1対2本の並行する第1の導波路102及び第2の導波路103と、それらの出力光を結合する出力光カプラ104を備える。導波路102及び103は、リブ導波路であり、紙面上下方向に第1の極性を持つ領域105及び第2の極性を持つ領域106に分かれている。入力光は、入力光カプラ101の入力ポートに接続された直線導波路または曲げ導波路を介して入力され、また、出力光カプラ104の出力ポート

に接続された直線導波路または曲げ導波路を介して出力される。進行波電極 108 は、位相変調部に比べて、位相変調部の光伝搬方向に向かって、位相変調部よりも長く形成され、減衰領域を構成している。第 2 の極性を持つ領域 106 には、金属のバイアス電極 107 が設けられている。

[0037] 本実施形態のマッハツェンダ光変調器は、位相変調部と減衰領域とのインピーダンスのマッチングをとることを可能にする構成を有する。

[0038] 図 8 に示すように、進行波電極 108 は、減衰領域における幅を位相変調部における幅よりも太くしている。本実施形態の光変調器によれば、2 本の進行波電極の電極間隔を狭くすることで、インピーダンスを下げることも可能とし、位相変調部と減衰領域のインピーダンスマッチングをとることも可能となる。

[0039] (実施形態 3)

図 9 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマッハツェンダ光変調器の構成を示す平面図である。本実施形態の光変調器は、入力光カプラ 101 と、それより 2 分岐された入力光を導波する 1 対 2 本の並行する第 1 の導波路 102 及び第 2 の導波路 103 と、それらの出力光を結合する出力光カプラ 104 を備える。導波路 102 及び 103 は、リブ導波路であり、紙面上下方向に第 1 の極性を持つ領域 105 及び第 2 の極性を持つ領域 106 に分かれている。入力光は、入力光カプラ 101 の入力ポートに接続された直線導波路または曲げ導波路を介して入力され、また、出力光カプラ 104 の出力ポートに接続された直線導波路または曲げ導波路を介して出力される。進行波電極 108 は、入力光カプラ 101 と出力光カプラ 104 との間に設けられ位相変調部を形成している。第 2 の極性を持つ領域 106 には、金属のバイアス電極 107 が設けられている。

[0040] 第 1 及び第 2 の実施形態のマッハツェンダ光変調器では、位相変調部を構成する進行波電極を延長し、減衰作用を持つ減衰領域とすることで、リップル量を低減させ、送信信号の品質を向上する効果を得た。

[0041] 本実施形態に係るマッハツェンダ光変調器は、固定減衰器 52 を進行波電

極 1 0 8 とパッド 1 1 0 の間に設置した構成である。固定減衰器 5 2 により、位相変調部を構成する進行波電極 1 0 8 を延長せずとも減衰作用を生じさせることができる。これによって、E O 特性のリプル量を抑えることができる。

[0042] 固定減衰器 5 2 はチップ部材の小型減衰器を変調器に表面実装して、設置することができる。

[0043] (実施形態 4)

図 1 0 は、本発明の第 4 の実施形態に係るマッハツェンダ光変調器の構成を示す平面図である。本実施形態の光変調器は、入力光カプラ 1 0 1 と、それより 2 分岐された入力光を導波する 1 対 2 本の並行する第 1 の導波路 1 0 2 及び第 2 の導波路 1 0 3 と、それらの出力光を結合する出力光カプラ 1 0 4 を備える。入力光は、入力光カプラ 1 0 1 の入力ポートに接続された直線導波路または曲げ導波路を介して入力され、また、出力光カプラ 1 0 4 の出力ポートに接続された曲げ導波路を介して出力される。

[0044] 導波路 1 0 2 及び 1 0 3 は、リブ導波路であり、紙面上下方向に第 1 の極性を持つ領域 1 0 5 及び第 2 の極性を持つ領域 1 0 6 に分かれている。進行波電極 1 0 8 は、位相変調部に比べて、位相変調部の光伝搬方向に向かって、位相変調部よりも長く形成されている。第 2 の極性を持つ領域 1 0 6 には、金属のバイアス電極 1 0 7 が設けられている。

[0045] 本実施形態のマッハツェンダ光変調器は、図 9 のマッハツェンダ光変調器のように別チップ部材の固定減衰器を設置するのではなく、シリコンフォトニクス上にモノリシックに形成したダミー位相変調部 5 3 を設けた構成である。ダミー位相変調部 5 3 が、大きな減衰作用を持つ固定減衰器の役割を果たす。シリコンフォトニクス上にモノリシックに形成したダミー位相変調部 5 3 もまた、1 対 2 本の並行する導波路（第 1 の導波路 1 0 2 及び第 2 の導波路 1 0 3 の光伝搬方向にある）と、位相変調部の光伝搬方向に向かって位相変調部よりも長く形成された進行波電極 1 0 8 とを備える。ダミー位相変調部 5 3 の 1 対 2 本の並行する導波路もまた、リブ導波路であり、第 1 の極

性を持つ領域及び第2の極性を持つ領域に分かれている。第2の極性を持つ領域には、金属のバイアス電極54が設けられている。

[0046] ダミー位相変調部53の断面構造は、図3に示した位相変調部の断面構造と同じであるが、マッハツェンダ光変調器の出力部には接続されていない。一般的に、PN接合が装荷された進行波電極は高周波通過時の減衰特性が大きくなるために、固定減衰器として作用させることができる。

[0047] 図9に示したマッハツェンダ光変調器と異なり、バルクの固定減衰器52を進行波電極108とパッド110の間に設置した構成ではないため、本実施形態のマッハツェンダ光変調器は、実装コストや部品点数を削減し低コスト化することができる。さらに、ダミー位相変調部53の第1の極性を持つ領域105及び第2の極性を持つ領域106のドーピング濃度を、位相変調部の第1の極性を持つ領域105及び第2の極性を持つ領域106のドーピング濃度よりも大きくすれば、ダミー位相変調部53に接続される進行波電極108の減衰量は大きくなり、小型化しつつ、リップル量を抑えることができる。

[0048] 図1に示したように、シリコン変調器に位相変調部においては一般的に2種類以上のドーピング濃度を用いる。図10のダミー位相変調部53においては、光導波路コア20及びスラブ領域21を、高濃度p型半導体層(p++)および高濃度n型半導体層(n++)のみを用いたPN接合とすることで、より効率よく減衰作用を得ることができる。また、図8を参照して上述したように、ダミー位相変調部53における進行波電極108の幅、電極間隔を調整することで、位相変調部とダミー位相変調部の間のインピーダンスマッチングを整合させることができる。これによって、リップルのない信号品質の良い光を送信することができる。

[0049] 図10においては、ダミー位相変調部53にバイアス電極54を設けた構成を示したが、バイアス電極54は無くとも良い。バイアス電極54がある場合には、バイアス電極54に逆バイアスする電圧を変化させることで、PN接合の空乏層を変化させ、ダミー位相変調部53における減衰量とインピ

ーダンスを変化させることができる。一般的に、逆バイアスが大きければ空乏層は大きく開く為、キャパシタンス性が小さくなり、減衰量は減るが、インピーダンスは大きくなる。ダミー位相変調部53を設けた場合には、位相変調部とダミー位相変調部53との間のインピーダンスミスマッチにより、高周波の反射が生じ、リップルが生じうる。バイアス電極54を設けた場合には、前述の、位相変調部とダミー位相変調部との間のインピーダンスミスマッチによって生じうるリップルをバイアスによって調整しつつ、ダミー位相変調部53の減衰量も制御出来る為、変調器全体として最もリップルが低減するバイアスに調整することが出来る。

[0050] さらにこの効果は、マッハツェンダ光変調器を作製した後にダミー位相変調部53のインピーダンス特性がばらついた場合においても、インピーダンスを調整できるようになるため、変調器全体として、最もリップルが低減するように調整が可能となる。

[0051] (実施形態5)

図11は、本発明の第5の実施形態に係る光送信機を示す平面図である。本実施形態の光送信器は、図10を参照して説明した本発明の第4の実施形態に係るマッハツェンダ光変調器を用いた光送信機である。図4に示したマッハツェンダ光変調器の進行波電極108（出力側パッド110）を終端抵抗51を介して端子516（電源の電位）に接続する接続構成と異なり、図11の構成は、終端抵抗51を介さずに、図10のマッハツェンダ光変調器の進行波電極108を端子516（電源の電位）に接続することに特徴がある。図10のマッハツェンダ光変調器の代わりに、図8または9のマッハツェンダ光変調器を用いてもよい。

[0052] 一般的には、終端抵抗を用いない場合、 R_{out} 、 Z 、及び R_{term} （この場合は電源のインピーダンスに依存し、一般的に数 $K\Omega$ ）におけるインピーダンスミスマッチにより、光変調器の高周波特性が大きなりプルを持つことになる。

[0053] しかし、光送信器を構成するマッハツェンダ光変調器として、図8、9お

よび10に示したマッハツェンダ光変調器のいずれかを用いることで、終端抵抗51を用いずに、端子516を介して接続される電源のインピーダンスと進行波電極108のインピーダンスにミスマッチがある場合にもリップル量を低減させることができる。したがって、終端抵抗51を用いない場合にもリップルを低減することができる為、光送信機の信号品質を犠牲にせずに、部品点数を削減し、低コスト化が可能となる。また、部品点数の削減により、光送信機の製品信頼性の向上と、実装による歩留り向上の効果も得られる。

符号の説明

- [0054] 1、3 SiO₂クラッド層
2 Si層
7 光導波路
20 光導波路コア
21 スラブ領域
22 高濃度p型半導体層、
23 高濃度n型半導体層
24 中濃度p型半導体層
25 中濃度n型半導体層
101 入力光カプラ
102、103 導波路（リブ導波路）
104 出力光カプラ
105 第1の極性を持つ領域
106 第2の極性を持つ領域
54、107 バイアス電極
108 進行波電極
109、501、511 入力側パッド
110、504、513 出力側パッド
50 ドライバ

5 0 2、5 0 3 増幅回路

5 0 5、5 1 4 ワイヤ

5 1 終端抵抗

5 1 2 抵抗

5 1 6 端子（電位）

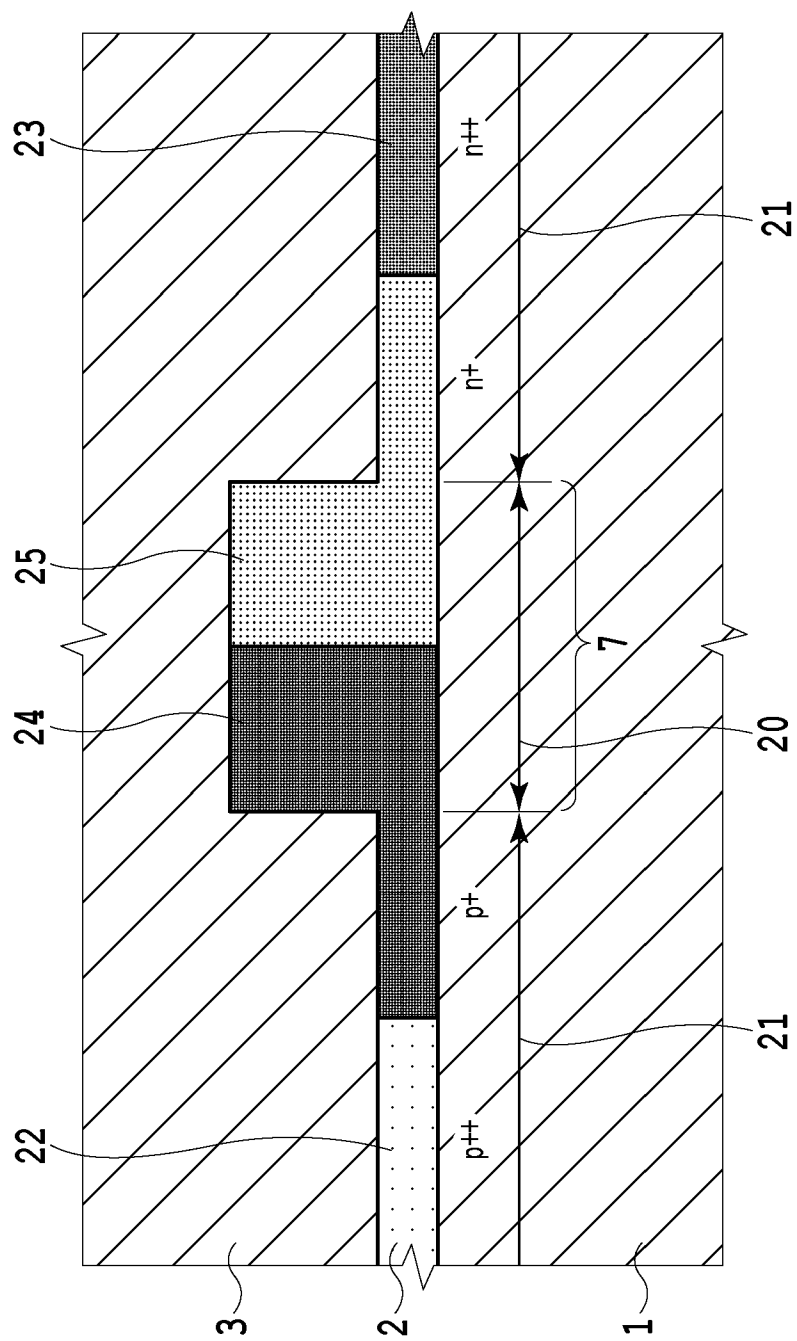
5 2 固定減衰器

5 3 ダミー位相変調部

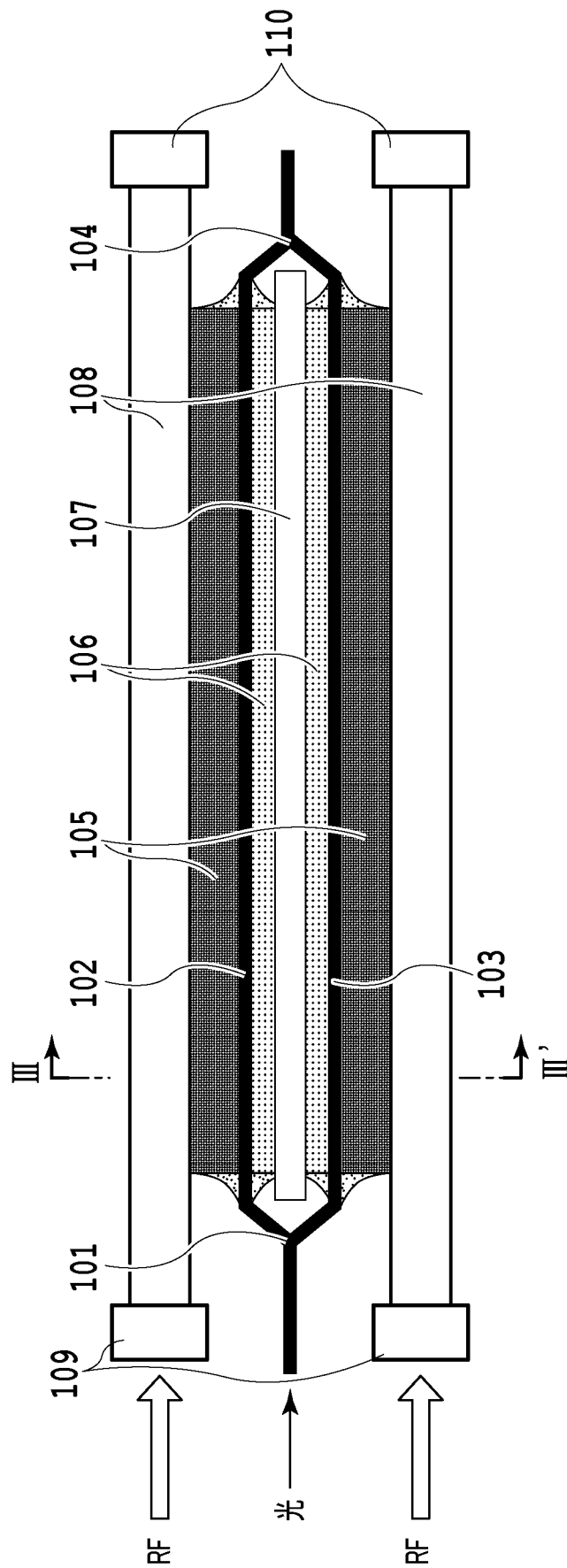
請求の範囲

- [請求項1] 基板上に形成され、少なくともひとつの光入力と、少なくともひとつの光出力と、少なくともひとつの位相変調部を備えた光変調器であって、
- 前記位相変調部が、
- P N接合構造を有する光導波路と、
- 変調用の高周波信号を印加して、前記光導波路を伝播する光が同一方向に伝搬しながら相互作用する進行波電極と
- を備え、前記進行波電極が、前記位相変調部の光伝搬方向に、前記位相変調部よりも長く形成され、減衰領域を構成し、
- 前記減衰領域がダミー位相変調部であり、前記ダミー位相変調部が、
- 、
- 前記進行波電極の前記位相変調部よりも長く形成された部分と、
- 前記位相変調部の光導波路と同じP N接合構造を有し、前記位相変調部の光導波路と接続されない光導波路と
- を備えた、光変調器。
- [請求項2] 前記ダミー位相変調部の光導波路のドーピング濃度が前記位相変調部の光導波路のドーピング濃度よりも高く、前記減衰領域を構成する前記進行波電極の前記位相変調部よりも長く形成された部分における前記高周波信号の損失が大きい、請求項1に記載の光変調器。
- [請求項3] 前記ダミー位相変調部が、バイアス電極をさらに備えた、請求項1または2に記載の光変調器。
- [請求項4] 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の光変調器を備え、前記進行波電極の終端側に終端抵抗が接続されていない、光送信機。

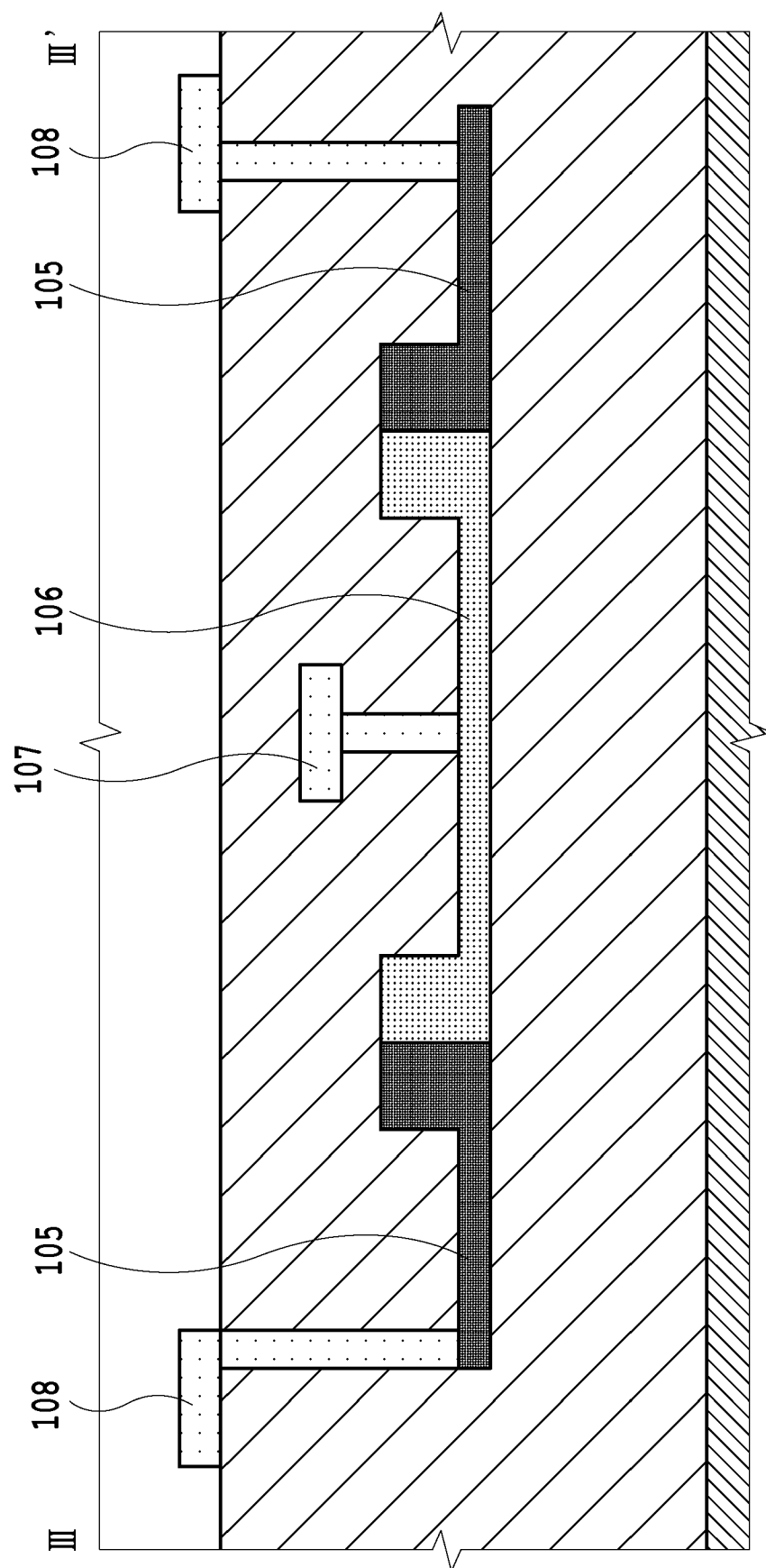
[図1]



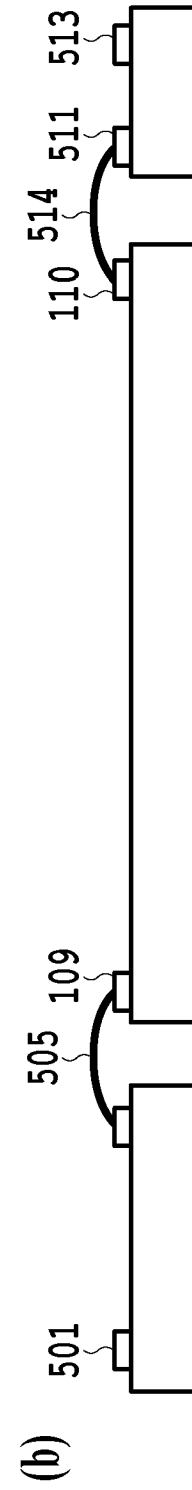
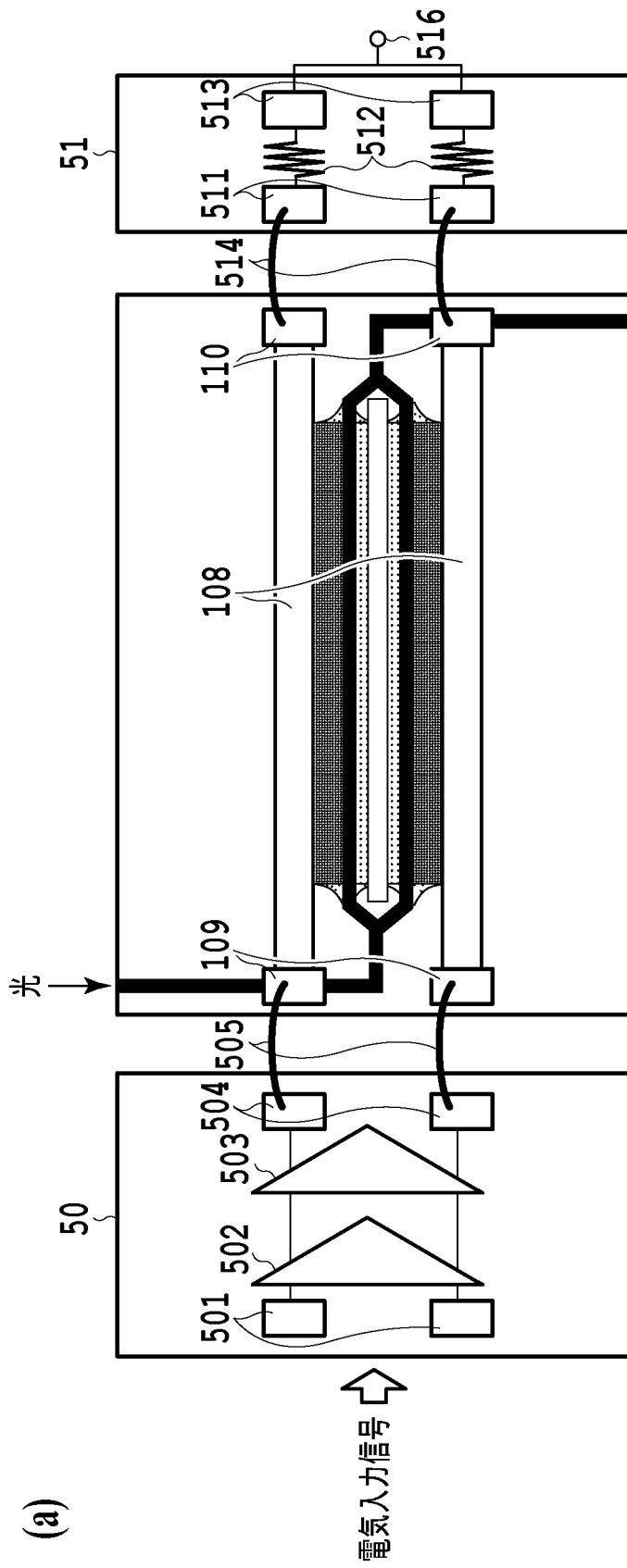
[図2]



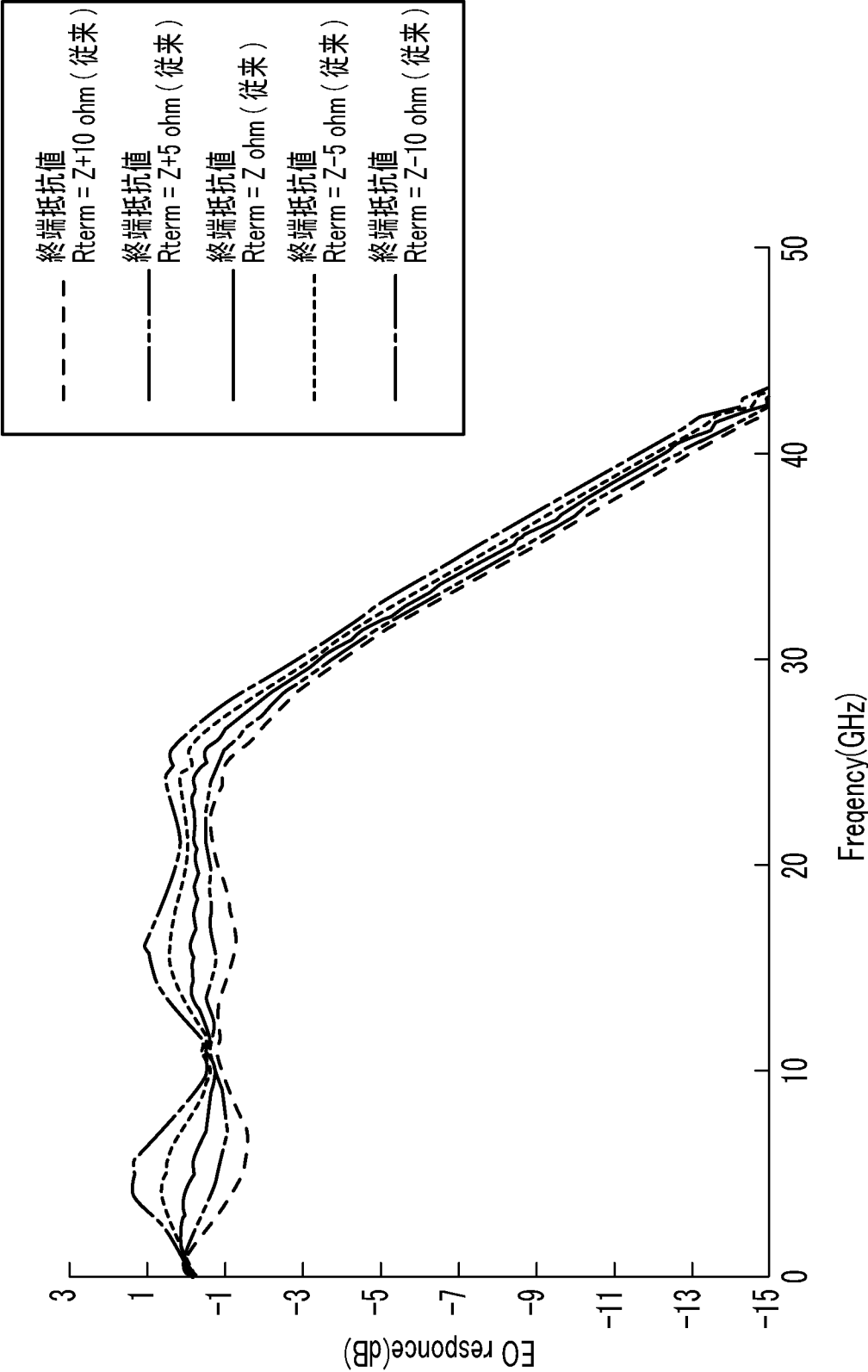
[図3]



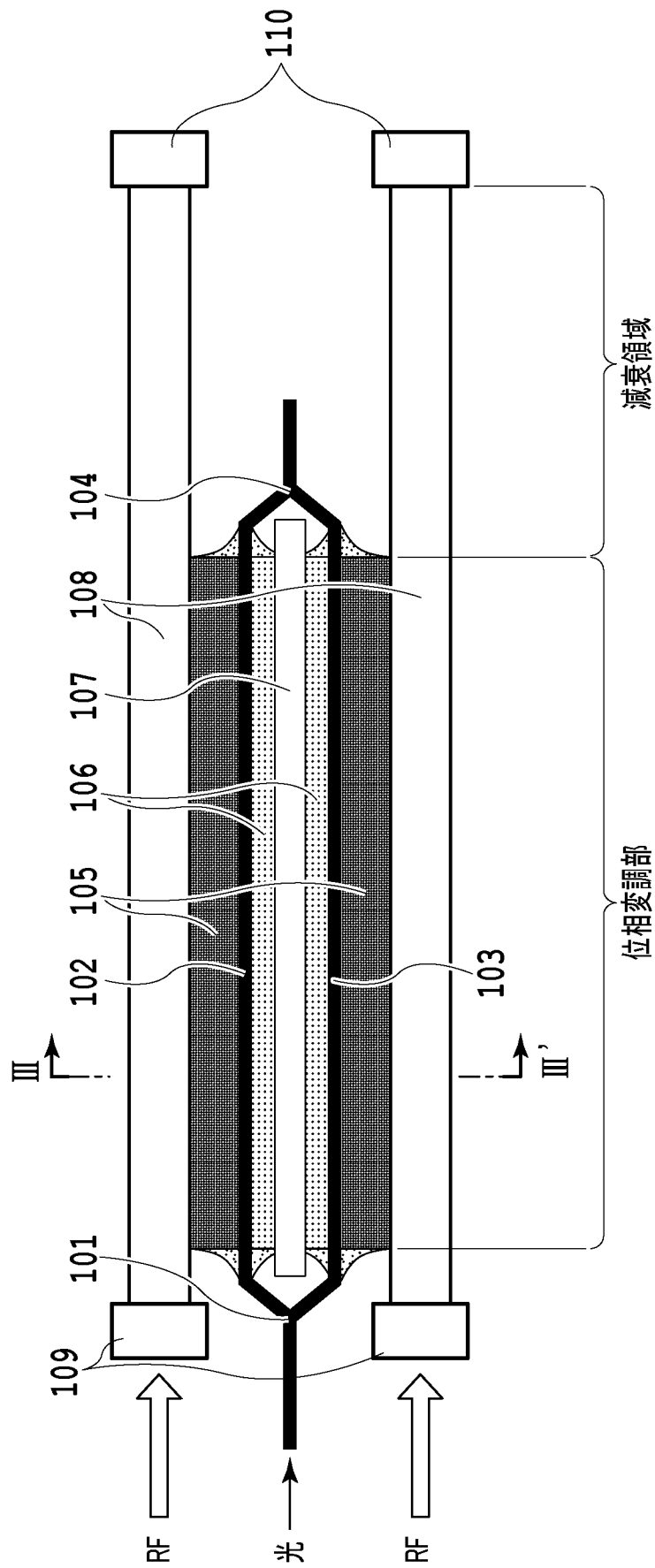
[図4]



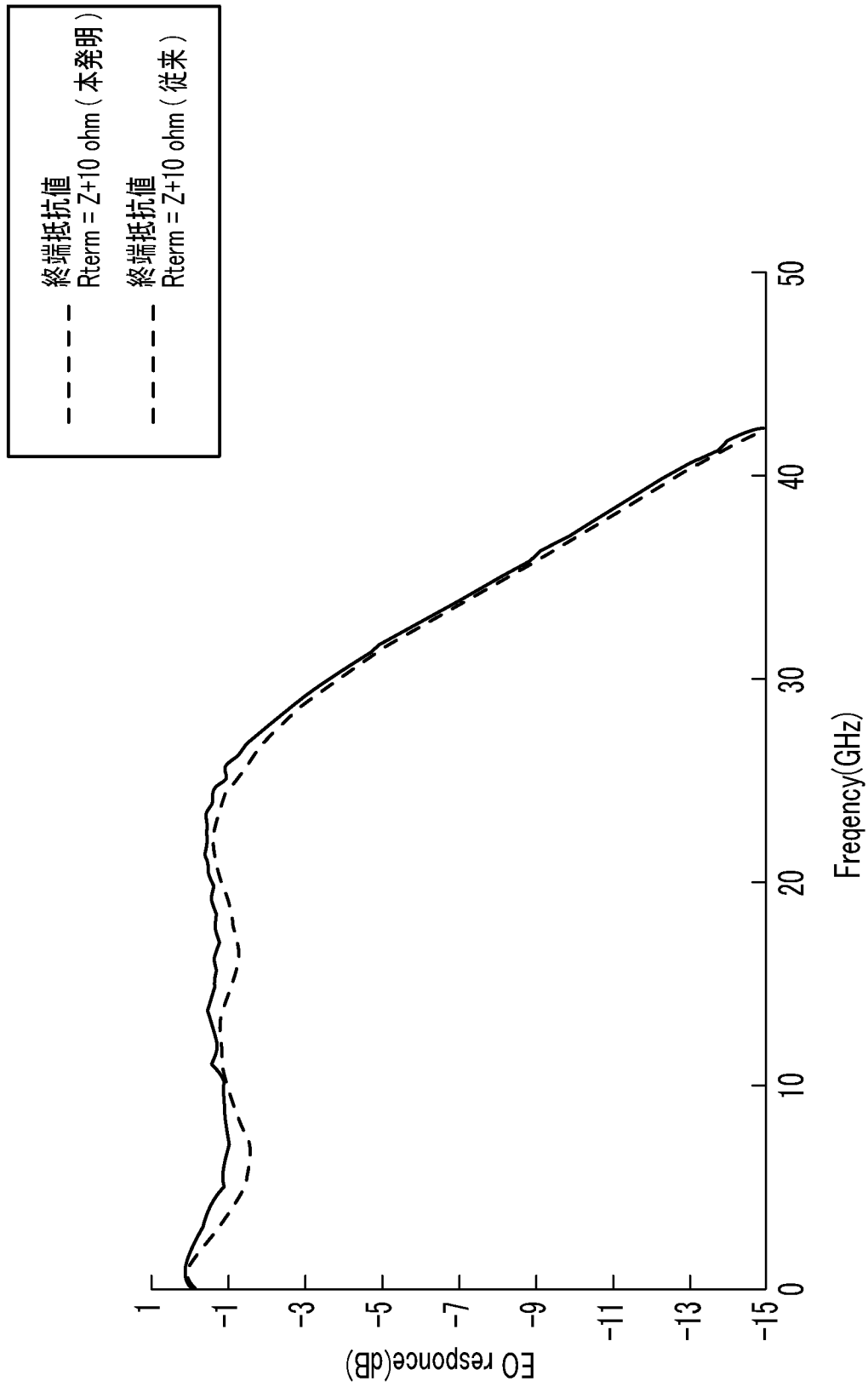
[図5]



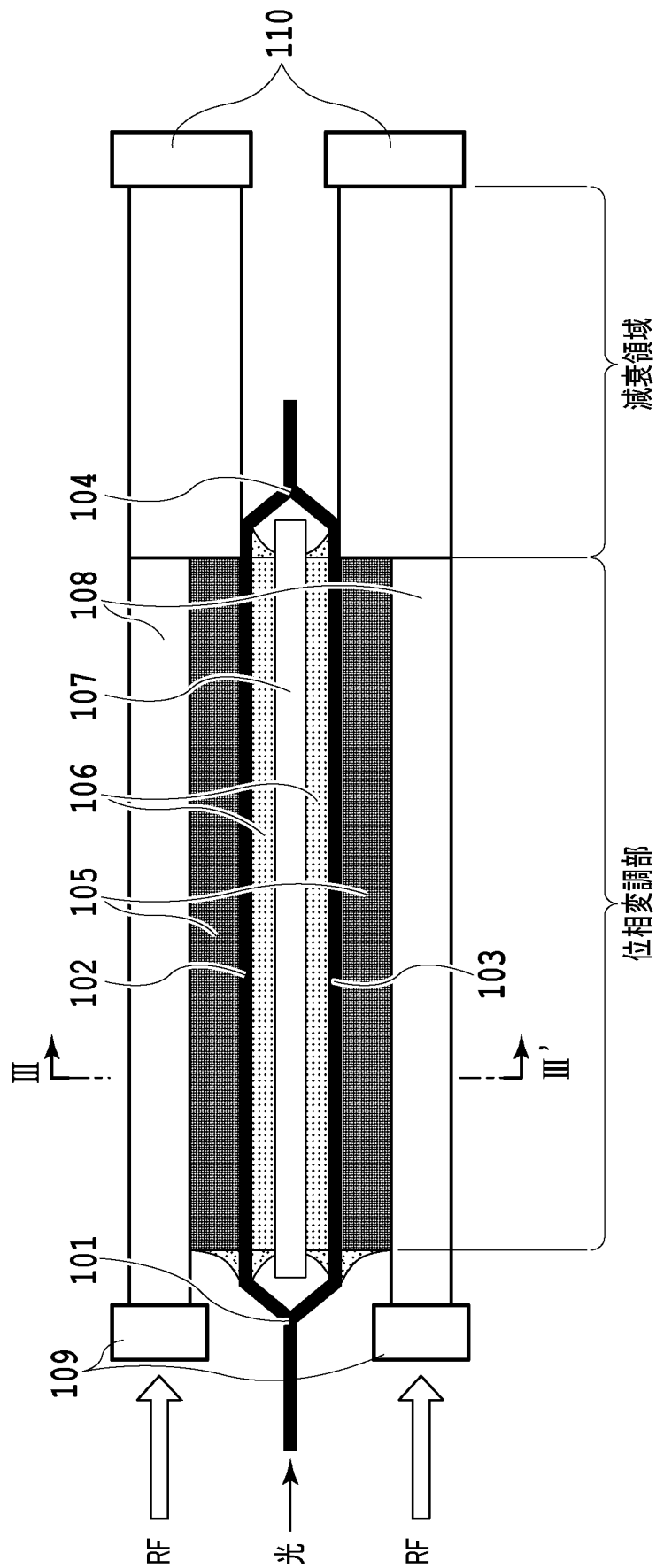
[図6]



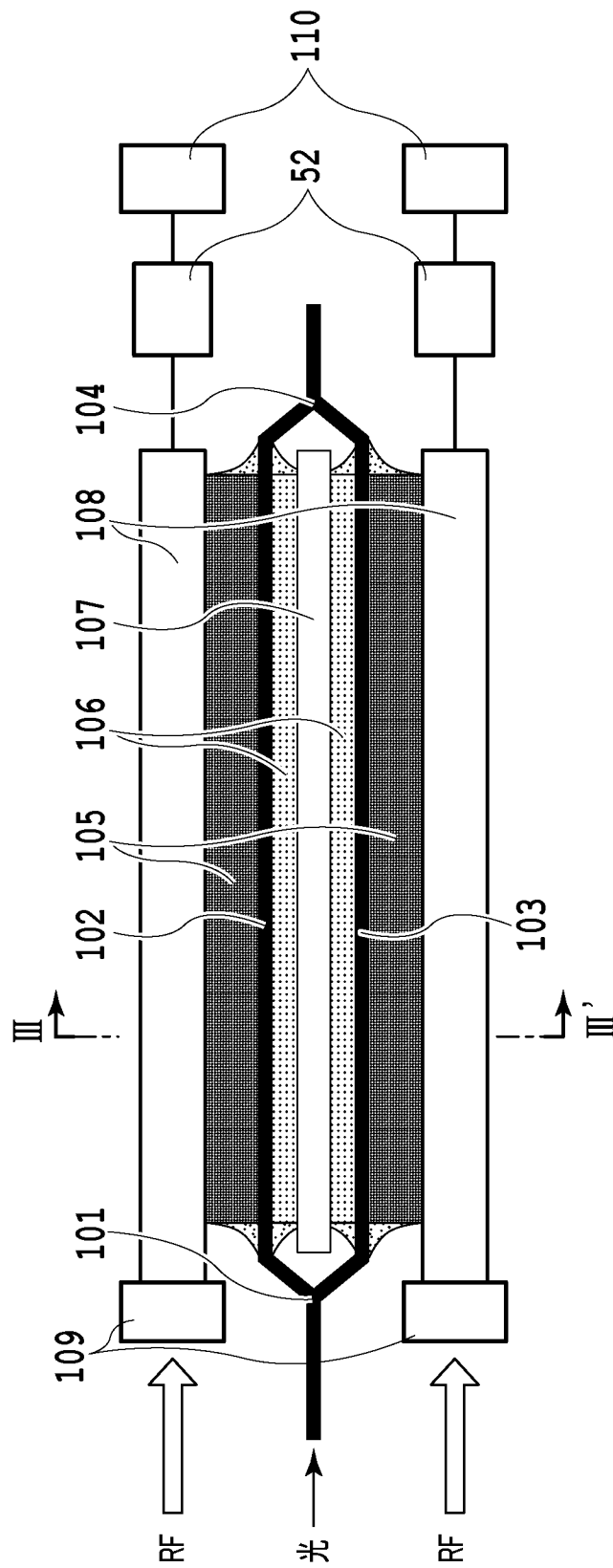
[図7]



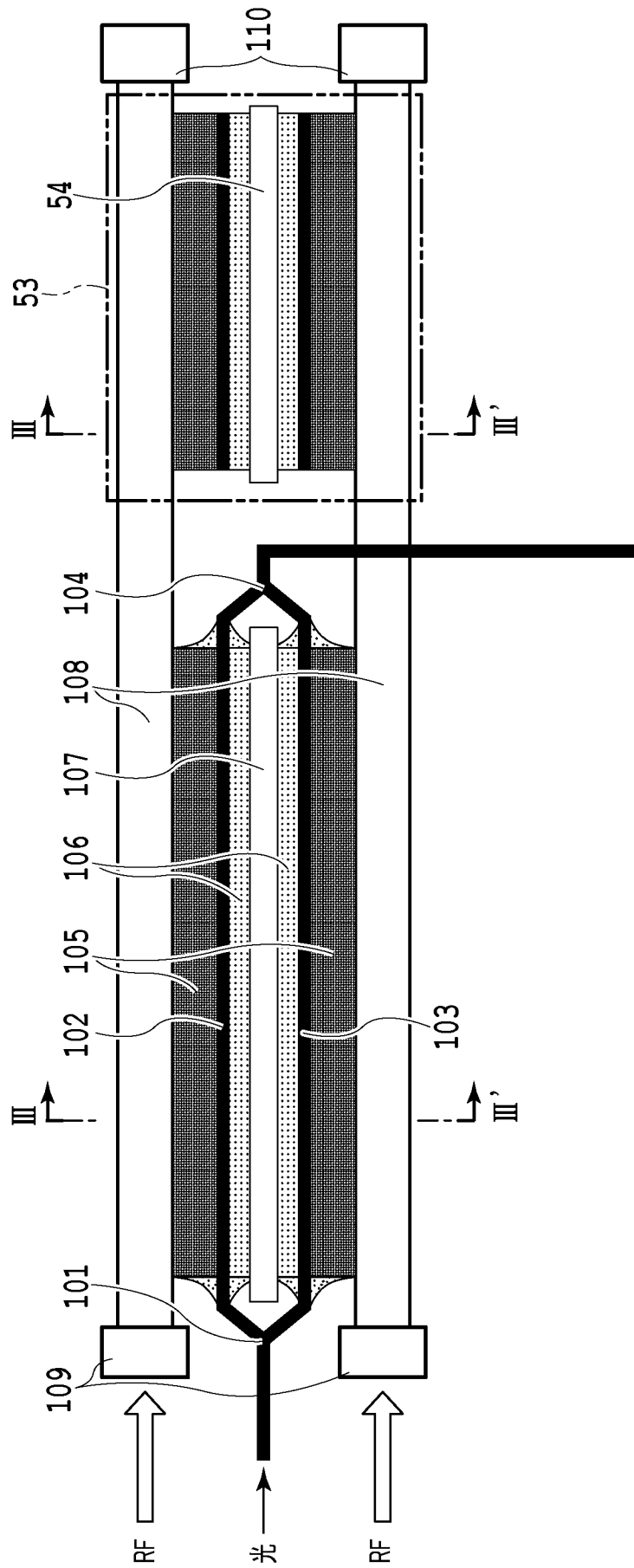
[図8]



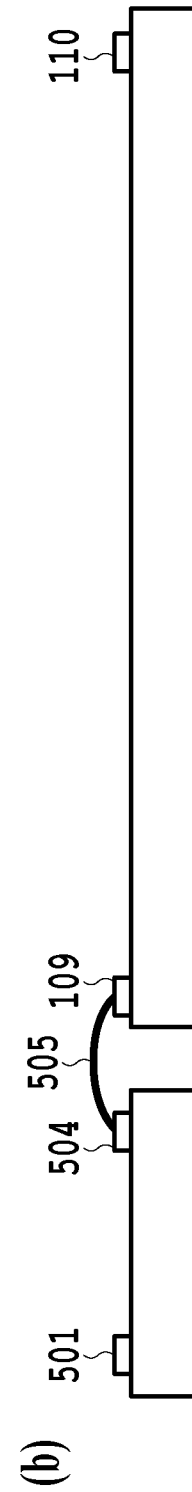
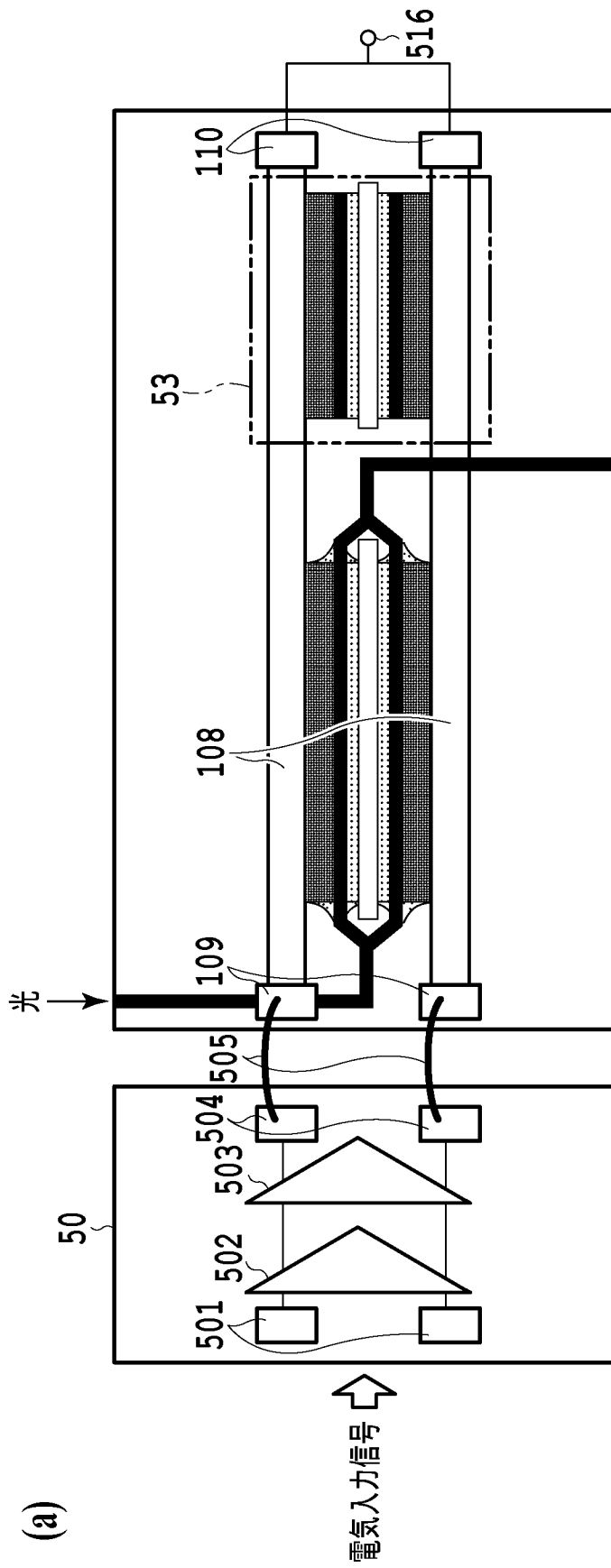
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/004954

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F 1/015 (2006.01) i

FI: G02F1/015 505

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

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2011-197427 A (FUJITSU LTD.) 06.10.2011 (2011-10-06) paragraphs [0031]-[0034], [0049]-[0050], fig. 6, 10-11	1, 3-4 2
Y A	JP 2015-148711 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 20.08.2015 (2015-08-20) paragraphs [0047]-[0071], [0079], fig. 1-4	1, 4 2
Y A	JP 2003-530592 A (BOOKHAM TECHNOLOGY PLC) 14.10.2003 (2003-10-14) paragraphs [0040]-[0043], fig. 5-9	1, 4 2
Y A	JP 2004-102160 A (FUJITSU QUANTUM DEVICES LIMITED) 02.04.2004 (2004-04-02) paragraphs [0048]-[0050], fig. 6	1, 3-4 2

☒ 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
06 April 2020 (06.04.2020)

Date of mailing of the international search report
21 April 2020 (21.04.2020)

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/JP2020/004954

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2017/159782 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 21.09.2017 (2017-09-21) paragraphs [0004]-[0024], fig. 1-6	1, 3-4 2
Y A	WOLF, N. et al., "Electro-Optical Co-Design to Minimize Power Consumption of a 32 GBd Optical IQ-Transmitter Using InP MZ-Modulators", 2015 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium (CSICS), 11 October 2015, pp. 1-4, https://ieeexplore.ieee.org/document/7314499 page 2, right column to page 4, left column	4 2
A	US 2011/0135242 A1 (PROSYK, Kelvin) 09.06.2011 (2011-06-09) entire text, all drawings	1-4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/004954

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2011-197427 A	06 Oct. 2011	JP 5553151 B2	
JP 2015-148711 A	20 Aug. 2015	JP 6126541 B2	
JP 2003-530592 A	14 Oct. 2003	US 2003/0190107 A1	
		paragraphs [0056]-	
		[0061], fig. 5-9	
		US 2006/0120655 A1	
		GB 2375614 B	
		WO 2001/077741 A2	
		EP 1272895 A2	
		CA 2405075 A1	
		CN 1434929 A	
JP 2004-102160 A	02 Apr. 2004	US 2004/0052491 A1	
		paragraphs [0058]-	
		[0061], fig. 6A-6C	
		JP 3801550 B2	
		US 6924918 B2	
WO 2017/159782 A1	21 Sep. 2017	US 2019/0025615 A1	
		paragraphs [0004]-	
		[0024], fig. 1-6	
		EP 3432059 A1	
		CN 108780236 A	
		CA 3016305 A1	
		JP 6586223 B2	
US 2011/0135242 A1	09 Jun. 2011	WO 2011/071919 A1	
		entire text, all	
		drawings	
		US 8280201 B2	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/015(2006.01)i FI: G02F1/015 505		
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		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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） IEEE Xplore		
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
Y A	JP 2011-197427 A（富士通株式会社）06.10.2011（2011-10-06） 段落[0031]-[0034], [0049]-[0050], 図6, 10-11	1, 3-4 2
Y A	JP 2015-148711 A（日本電信電話株式会社）20.08.2015（2015-08-20） 段落[0047]-[0071], [0079], 図1-4	1, 4 2
Y A	JP 2003-530592 A（ブッカム・テクノロジー・ピーエルシー）14.10.2003（2003-10-14） 段落[0040]-[0043], 図5-9	1, 4 2
Y A	JP 2004-102160 A（富士通カンタムデバイス株式会社）02.04.2004（2004-04-02） 段落[0048]-[0050], 図6	1, 3-4 2
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 06.04.2020		国際調査報告の発送日 21.04.2020
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） 野口 晃一 2L 5708 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
Y	WO 2017/159782 A1 (日本電信電話株式会社) 21.09.2017 (2017 - 09 - 21)	1, 3-4
A	段落[0004]-[0024], 図1-6	2
Y	WOLF N. et al., Electro-Optical Co-Design to Minimize Power Consumption of a 32 GBd Optical IQ-Transmitter Using InP MZ-Modulators, 2015 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium (CSICS), 2015.10.11, pp.1-4, https://ieeexplore.ieee.org/document/7314499	4
A	第2ページ右欄-第4ページ左欄	2
A	US 2011/0135242 A1 (PROSYK, Kelvin) 09.06.2011 (2011 - 06 - 09)	1-4
	全文, 全図	

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/JP2020/004954

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2011-197427	A	06.10.2011	JP	5553151	B2	
JP	2015-148711	A	20.08.2015	JP	6126541	B2	
JP	2003-530592	A	14.10.2003	US	2003/0190107	A1	
				段落[0056]-[0061], 図5-9			
				US	2006/0120655	A1	
				GB	2375614	B	
				WO	2001/077741	A2	
				EP	1272895	A2	
				CA	2405075	A1	
				CN	1434929	A	
JP	2004-102160	A	02.04.2004	US	2004/0052491	A1	
				段落[0058]-[0061], 図6A-6C			
				JP	3801550	B2	
				US	6924918	B2	
WO	2017/159782	A1	21.09.2017	US	2019/0025615	A1	
				段落[0004]-[0024], 図1-6			
				EP	3432059	A1	
				CN	108780236	A	
				CA	3016305	A1	
				JP	6586223	B2	
US	2011/0135242	A1	09.06.2011	WO	2011/071919	A1	
				全文, 全図			
				US	8280201	B2	