

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-8869

(P2010-8869A)

(43) 公開日 平成22年1月14日(2010.1.14)

(51) Int.Cl.

G02F 1/017 (2006.01)

F I

G02F 1/017 503

テーマコード (参考)

2H079

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2008-170325 (P2008-170325)
(22) 出願日 平成20年6月30日 (2008. 6. 30)

(71) 出願人 000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号
(74) 代理人 100091340
弁理士 高橋 敬四郎
(74) 代理人 100105887
弁理士 来山 幹雄
(72) 発明者 田中 有
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72) 発明者 山本 剛之
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
Fターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA03 CA04 DA16
DA22 EA05 EB04 HA04

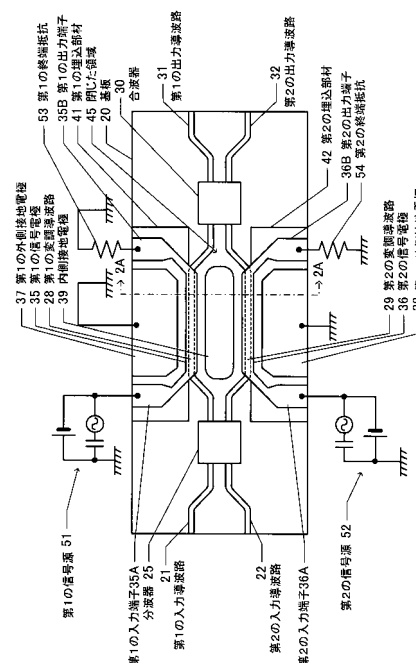
(54) 【発明の名称】 マッハツェンダ型光変調器

(57) 【要約】

【課題】 マッハツェンダ型光変調器の2本の変調導波路の間に配置された接地電極が変調導波路と交差する部分の作製のために、製造工程が複雑になる。

【解決手段】 半導体基板の上に、相互に間隔を隔てて第1及び第2の変調導波路(28,29)が配置される。さらに、第1及び変調導波路に接続される分波器(25)及び合波器(30)が配置される。第1の変調導波路の上に第1の信号電極(35)が配置され、第2の変調導波路の上に第2の信号電極(36)が配置される。第1の信号電極の両側の基板表面のうち、第2の信号電極側に第1の内側接地電極(39)が配置され、その反対側に第1の外側接地電極(37)が配置される。第2の信号電極の両側の基板表面のうち、第1の信号電極側に第2の内側接地電極(39)が配置され、その反対側に第2の外側接地電極(38)が配置される。第1の及び第2の内側接地電極は、第1の変調導波路及び前記第2の変調導波路のいずれとも重ならない。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体基板の上に、相互に間隔を隔てて配置された第 1 及び第 2 の変調導波路と、
前記半導体基板の上に配置され、前記第 1 の変調導波路及び第 2 の変調導波路の入力端に接続された分波器と、

前記半導体基板の上に配置され、前記第 1 の変調導波路及び第 2 の変調導波路の出力端に接続された合波器と、

前記第 1 の変調導波路の上に、該第 1 の変調導波路に沿って配置された第 1 の信号電極と、

前記第 2 の変調導波路の上に、該第 2 の変調導波路に沿って配置された第 2 の信号電極と、

前記第 1 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 2 の信号電極側に配置された第 1 の内側接地電極と、

前記第 1 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 2 の信号電極とは反対側に配置された第 1 の外側接地電極と、

前記第 2 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 1 の信号電極側に配置された第 2 の内側接地電極と、

前記第 2 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 1 の信号電極とは反対側に配置された第 2 の外側接地電極と

を有し、

前記第 1 の内側接地電極及び前記第 2 の内側接地電極は、平面視において、前記第 1 の変調導波路、及び前記第 2 の変調導波路のいずれとも重ならない光変調器。

【請求項 2】

前記第 1 の内側接地電極と前記第 2 の内側接地電極とが、1 つの導電パターンを共有する請求項 1 に記載の光変調器。

【請求項 3】

さらに、前記半導体基板の表面に形成され、それぞれ前記第 1 の変調導波路及び前記第 2 の変調導波路に沿う平面形状を持つ第 1 のメサ構造及び第 2 のメサ構造を有し、

前記第 1 の変調導波路及び前記第 2 の変調導波路は、それぞれ前記第 1 のメサ構造及び第 2 のメサ構造内に配置されており、

前記第 1 の信号電極及び前記第 2 の信号電極は、それぞれ前記第 1 のメサ構造及び前記第 2 のメサ構造の上に配置されている請求項 1 または 2 に記載の光変調器。

【請求項 4】

さらに、前記第 1 のメサ構造及び第 2 のメサ構造の外側の前記半導体基板の上に配置され、前記第 1 のメサ構造及び前記第 2 のメサ構造を形成する材料よりも誘電率が低い材料で形成された埋込部材を有し、

前記第 1 及び第 2 の外側接地電極が前記埋込部材の上に形成されている請求項 3 に記載の光変調器。

【請求項 5】

前記半導体基板が、その表層部に形成された導電性半導体材料からなる導電層を含み、前記第 1 及び第 2 の内側接地電極が、前記導電層に接している請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光変調器。

【請求項 6】

前記半導体基板が導電性半導体材料で形成されており、

さらに、該半導体基板の裏側の表面に形成された背面接地電極を有する請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光変調器。

【請求項 7】

前記第 1 の内側接地電極及び第 2 の内側接地電極は、平面視において、前記第 1 の変調導波路、前記第 2 の変調導波路、前記分波器、及び前記合波器で囲まれた閉じた領域の外側の接地電位が与えられる導電性領域に、基板上の配線を介して接続されない請求項 1 乃至 5

至 6 のいずれか 1 項に記載の光変調器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体基板の上に形成されるマッハツェンダ型光変調器に関する。

【背景技術】

【0002】

I n P 系半導体を用いたマッハツェンダ型光変調器は、L i N b O ₃ を用いた光変調器に比べて小型化が可能である。このため、I n P 系半導体を用いたマッハツェンダ型光変調器は、高密度波長分割多重 (D W D M) システム用の波長可変中継装置の小型化を図るために有望な技術である。また、プッシュプル駆動することにより、チャープ制御が可能である。このため、半導体レーザとモノリシック集積化した小型の光中継器の構成部品として期待される。

10

【0003】

半導体基板上に形成されるマッハツェンダ変調器は、分波器、2 本の変調導波路、合波器を含む (特許文献 1、非特許文献 1)。2 本の変調導波路の各々の上に、導波路に沿って変調信号が印加される進行波電極が形成される。進行波電極の両側に接地電極が配置される。一方の接地電極は、2 本の変調導波路の間に配置されることになる。変調導波路の間に配置された接地電極は、変調導波路と交差して外側の領域まで延在し、接地電位を印加するための端子に接続される。

20

【0004】

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 3 0 0 5 7 0 号公報

【特許文献 2】K. Tsuzuki et al., "A 40-Gb/s InGaAlAs-InAlAs MQW n-i-n Mach-Zehnder Modulator With a Drive Voltage of 2.3 V", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 17, No. 1, January 2005

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来のマッハツェンダ型光変調器においては、2 本の変調導波路の間に配置された接地電極と、接地電位を印加するための端子とが接続される。両者を接続するための配線は、変調導波路と交差する。変調導波路は、通常、基板上に形成されたメサ形状を有する。配線と変調導波路との交差箇所において、導波光に悪影響を及ぼさないようにするために、変調信号が印加される進行波電極と変調導波路との重なり部分とは異なる作製手順を採用しなければならない。例えば、エアブリッジ等の作製手順を採用する必要がある。このため、製造工程が複雑になる。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するための光変調器は、

半導体基板の上に、相互に間隔を隔てて配置された第 1 及び第 2 の変調導波路と、

前記半導体基板の上に配置され、前記第 1 の変調導波路及び第 2 の変調導波路の入力端に接続された分波器と、

40

前記半導体基板の上に配置され、前記第 1 の変調導波路及び第 2 の変調導波路の出力端に接続された合波器と、

前記第 1 の変調導波路の上に、該第 1 の変調導波路に沿って配置された第 1 の信号電極と、

前記第 2 の変調導波路の上に、該第 2 の変調導波路に沿って配置された第 2 の信号電極と、

前記第 1 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 2 の信号電極側に配置された第 1 の内側接地電極と、

前記第 1 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 2 の信号電極とは反対側に配置さ

50

れた第 1 の外側接地電極と、

前記第 2 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 1 の信号電極側に配置された第 2 の内側接地電極と、

前記第 2 の信号電極の両側の基板表面のうち、前記第 1 の信号電極とは反対側に配置された第 2 の外側接地電極と

を有し、

前記第 1 の内側接地電極及び前記第 2 の内側接地電極は、平面視において、前記第 1 の変調導波路、及び前記第 2 の変調導波路のいずれとも重ならない。

【発明の効果】

【0007】

第 1 及び第 2 の内側接地電極が、前記第 1 の変調導波路、及び前記第 2 の変調導波路のいずれとも重ならないため、重なり部分を作製するための特殊な工程が不要である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

図 1 に、第 1 の実施例によるマッハツェンダ型光変調器の平面図を示す。基板 20 の上に、分波器 25 及び合波器 30 が配置されている。分波器 25 及び合波器 30 には、例えばマルチモード干渉型 (MMI) カブラが用いられる。分波器 25 及び合波器 30 の各々は、2 つの入力ポートと 2 つの出力ポートとを有する。

【0009】

第 1 の入力導波路 21 及び第 2 の入力導波路 22 が、それぞれ分波器 25 の 2 つの入力ポートに接続されている。第 1 の変調導波路 28 が、分波器 25 の一方の出力ポートと合波器 30 の一方の入力ポートとを接続する。第 2 の変調導波路 29 が、分波器 25 の他方の出力ポートと合波器 30 の他方の入力ポートとを接続する。第 1 の出力導波路 31 及び第 2 の出力導波路 32 が、それぞれ合波器 30 の 2 つの出力ポートに接続されている。

【0010】

第 1 の変調導波路 28 及び第 2 の変調導波路 29 は、端部近傍以外において、相互に平行に配置される。端部近傍の領域においては、端部に向かって間隔が徐々に狭まった後、相互に平行に配置されて、分波器 25 または合波器 30 に接続される。これらの導波路は、コア層及びその上下のクラッド層をメサ構造にしたハイメサ型光導波路である。

【0011】

分波器 25、第 1 の変調導波路 28、合波器 30、及び第 2 の変調導波路 29 により、閉じた領域 45 が画定される。

【0012】

閉じた領域 45 の外側において第 1 の変調導波路 28 に隣接するように、第 1 の埋込部材 41 が配置されている。第 1 の埋込部材 41 は、第 1 の変調導波路 28 及び第 2 の変調導波路 29 を構成するコア層、及び上下のクラッド層のいずれよりも誘電率の低い低誘電率材料で形成される。第 1 の埋込部材 41 の厚さは、その上面が第 1 の変調導波路 28 の上面とほぼ同一の高さになるように調整される。

【0013】

第 1 の変調導波路 28 の、端部近傍以外の部分に重なるように、第 1 の信号電極 35 が配置されている。閉じた領域 45 の外側に、第 1 の入力端子 35A、及び第 1 の出力端子 35B が配置されている。第 1 の信号電極 35 の、分波器 25 側の端部は、第 1 の入力端子 35A に接続され、合波器 30 側の端部は、第 1 の出力端子 35B に接続されている。第 1 の変調信号電極 35、第 1 の入力端子 35A、及び第 1 の出力端子 35B は、同一の導電膜により形成されている。

【0014】

第 1 の信号電極 35 の両側に、第 1 の外側接地電極 37 及び内側接地電極 39 が配置されている。内側接地電極 39 は、閉じた領域 45 の内側に配置され、第 1 の外側接地電極 37 は、閉じた領域 45 の外側に配置されている。内側接地電極 39 は、平面視において、第 1 の変調導波路 28 及び第 2 の変調導波路 29 のいずれとも重ならない。また、閉じ

10

20

30

40

50

た領域 4 5 の外側に配置された接地電位が与えられる導電性領域に、基板上の配線を介して接続されない。

【0015】

第 2 の変調導波路 2 9 に対しても、第 2 の信号電極 3 6、第 2 の入力端子 3 6 A、第 2 の出力端子 3 6 B、第 2 の外側接地電極 3 8、第 2 の埋込部材 4 2 が配置されている。内側接地電極 3 9 は、第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 に対応する接地電極として共用される。なお、第 1 の信号電極 3 5 に対応する内側接地電極と、第 2 の信号電極 3 6 に対応する内側接地電極とを、相互に分離してもよい。

【0016】

第 2 の信号電極 3 6、第 2 の入力端子 3 6 A、第 2 の出力端子 3 6 B、第 2 の外側接地電極 3 8、第 2 の埋込部材 4 2 は、それぞれ、第 1 の変調導波路 2 8 と第 2 の変調導波路 2 9 とが相互に平行に配置された部分の中間線に関して、第 1 の信号電極 3 5、第 1 の入力端子 3 5 A、第 1 の出力端子 3 5 B、第 1 の外側接地電極 3 7、第 1 の埋込部材 4 1 と対称な平面形状を有する。

【0017】

第 1 の入力端子 3 5 A に第 1 の信号源 5 1 が接続され、第 1 の出力端子 3 5 B に $50\ \Omega$ の終端抵抗 5 3 が接続される。第 2 の入力端子 3 6 A に第 2 の信号源 5 2 が接続され、第 2 の出力端子 3 6 B に $50\ \Omega$ の終端抵抗 5 4 が接続される。直流的に負にバイアスされた第 1 の入力端子 3 5 A 及び第 2 の入力端子 3 6 A に、変調信号が印加される。

【0018】

図 2 に、図 1 の一点鎖線 2 A - 2 A における断面図を示す。(001) 面を主面とする n 型 InP からなる基板 2 0 の上に、半絶縁性埋込ヘテロ (SI-BH) 構造の第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 が形成されている。第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の各々は、下部クラッド層 6 1、コア層 6 2、及び上部クラッド層 6 3 がこの順番に形成された積層構造を有する。上部クラッド層 6 3 の上に、コンタクト層 6 4 が形成されている。下部クラッド層 6 1 は、基板 2 0 の全面に配置されており、第 1 及び第 2 の変調導波路 2 8、2 9 以外の領域の下部クラッド層 6 1 の上面は、第 1 及び第 2 の変調導波路 2 8、2 9 内の上面よりも低い。第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の各々の幅 (メサ部の幅) は、例えば $1.4 \sim 1.8\ \mu\text{m}$ である。

【0019】

下部クラッド層 6 1 は、n 型 InP で形成され、その不純物濃度は $5 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ であり、変調導波路 2 8、2 9 が形成されている部分の厚さは $1.4\ \mu\text{m}$ である。上部クラッド層 6 3 は、p 型 InP で形成され、その厚さは $1.3\ \mu\text{m}$ である。コア層 6 2 側の厚さ $0.5\ \mu\text{m}$ の部分の不純物濃度は $6.5 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ であり、コンタクト層 6 4 側の厚さ $0.8\ \mu\text{m}$ の部分の不純物濃度は $1.6 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ である。コンタクト層 6 4 は、厚さ $0.1\ \mu\text{m}$ 、不純物濃度 $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ の p 型 InGaAsP 層と、その上の厚さ $0.5\ \mu\text{m}$ 、不純物濃度 $1.5 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ の p 型 InGaAs 層とを含む。

【0020】

コア層 6 2 は、厚さ $50\ \text{nm}$ の i 型 InP 層、多重量子井戸層、及び厚さ $100\ \text{nm}$ の i 型 InP 層がこの順番に形成された積層構造を有する。例えば $1.4\ \mu\text{m}$ の吸収端を持つ多重量子井戸層は、厚さ $5\ \text{nm}$ の i 型 InP バリア層と厚さ $10\ \text{nm}$ の i 型 InGaAsP 井戸層とを交互に重ねた積層構造を有する。例えば、バリア層の数を 34 層とし、井戸層の数を 33 層とする。これにより、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の光導波路が形成される。

【0021】

第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の側面に、半絶縁性の InP からなる半絶縁性高抵抗膜 6 5 が形成されている。半絶縁性高抵抗膜 6 5 の表面、及び下部クラッド層 6 1 の表面を酸化シリコンからなる保護膜 6 7 が覆う。なお、第 1 の変調導波路 2 8 と第 2 の変調導波路 2 9 との間の下部クラッド層 6 1 が露出するように、保護膜 6 7 に開口が形成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

第 1 の変調導波路 2 8 よりも外側の基板上に、第 1 の埋込部材 4 1 が配置され、第 2 の変調導波路 2 9 よりも外側の基板上に、第 2 の埋込部材 4 2 が配置されている。第 1 の変調導波路 2 8 の内側（第 2 の変調導波路側）の側面に配置された保護膜 6 7 の側面に、埋込部材 4 3 が配置され、第 2 の変調導波路 2 9 の内側（第 1 の変調導波路側）の側面に配置された保護膜 6 7 の側面に、埋込部材 4 4 が配置されている。第 1 の埋込部材 4 1、第 2 の埋込部材 4 2、及び埋込部材 4 3、4 4 には、例えばベンゾシクロブテン（BCB）が用いられる。なお、ベンゾシクロブテンに代えて、他の低誘電率材料、例えばポリイミド系有機化合物、エポキシ系有機化合物、アクリル系有機化合物等を用いてもよい。

【 0 0 2 3 】

第 1 の変調導波路 2 8 の上のコンタクト層 6 4 の上に、第 1 の信号電極 3 5 が形成されている。第 2 の変調導波路 2 9 の上のコンタクト層 6 4 の上に、第 2 の信号電極 3 6 が形成されている。第 1 の埋込部材 4 1 の上に、第 1 の外側接地電極 3 7 が形成され、第 2 の埋込部材 4 2 の上に、第 2 の外側接地電極 3 8 が形成されている。第 1 の変調導波路 2 8 と第 2 の変調導波路 2 9 との間の下部クラッド層 6 1 の上に、内側接地電極 3 9 が形成されている。内側接地電極 3 9 は、保護膜 6 7 に設けられた開口内に配置され、下部クラッド層 6 1 に接触している。基板 2 0 の背面に、背面電極 7 0 が形成されている。背面電極 7 0 には、接地電位が印加される。

【 0 0 2 4 】

次に、図 3 A ~ 図 3 K を参照して、第 1 の実施例による光変調器の製造方法について説明する。

【 0 0 2 5 】

図 3 A に示すように、基板 2 0 の上に、下部クラッド層 6 1、コア層 6 2、上部クラッド層 6 3、及びコンタクト層 6 4 を順番に形成する。これらの膜は、分子線エピタキシ（MBE）や有機金属化学気相成長（MOCVD）によって化合物半導体をエピタキシャル結晶成長させることにより形成される。

【 0 0 2 6 】

コンタクト層 6 4 の上に、マスクパターン 1 0 0 を形成する。マスクパターン 1 0 0 は、図 1 に示した第 1 の入力導波路 2 1、第 2 の入力導波路 2 2、分波器 2 5、第 1 の変調導波路 2 8、第 2 の変調導波路 2 9、合波器 3 0、第 1 の出力導波路 3 1、及び第 2 の出力導波路 3 2 の平面形状に対応する。マスクパターン 1 0 0 には、酸化シリコン、窒化シリコン、レジスト材等が用いられる。

【 0 0 2 7 】

図 3 B に示すように、マスクパターン 1 0 0 をエッチングマスクとして、コンタクト層 6 4 から、下部クラッド層 6 1 の表層部までエッチングする。このエッチングには、ドライエッチングまたはウェットエッチングを適用することができる。ドライエッチングには、 SiCl_4 や Cl_2 等の塩素系ガスの誘導結合プラズマを用いることができる。ウェットエッチングには、塩酸等を用いることができる。このエッチングにより、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 を含むメサ構造が形成される。

【 0 0 2 8 】

図 3 C に示すように、マスクパターン 1 0 0 の上には成長しない条件で、下部クラッド層 6 1 の上に半絶縁性の InP からなる埋込層 6 5 a を選択成長させる。埋込層 6 5 a の成長には、例えば MOCVD が適用される。埋込層 6 5 a の形成後、マスクパターン 1 0 0 を除去する。

【 0 0 2 9 】

図 3 D に示すように、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の上に、マスクパターン 1 0 1 を形成する。マスクパターン 1 0 1 の幅は、コア層 6 2 よりもやや広い。マスクパターン 1 0 1 には、酸化シリコン、窒化シリコン、レジスト材等が用いられる。

【 0 0 3 0 】

図 3 E に示すように、マスクパターン 1 0 1 をエッチングマスクとして、埋込層 6 5 a

10

20

30

40

50

及び下部クラッド層 6 1 の上層部分をエッチングする。第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 を構成するメサ構造の側面に、埋込層 6 5 a の一部（半絶縁性高抵抗膜）6 5 が残る。埋込層 6 5 a のエッチング後、マスクパターン 1 0 1 を除去する。

【0031】

コア層 6 2 の上下に、それぞれ上部クラッド層 6 4 及び下部クラッド層 6 1 が配置され、側方に埋込層 6 5 a が配置された S I - B H 構造が得られる。

【0032】

図 3 F に示すように、基板全面を、保護膜 6 7 で覆う。保護膜 6 7 には、例えば酸化シリコン、窒化シリコン等が用いられる。保護膜 6 7 の形成には、電子ビーム蒸着等が用いられる。

10

【0033】

図 3 G に示すように、保護膜 6 7 の表面に、低誘電率材料をスピンコート等により塗布し、キュアを行うことにより、低誘電率層 4 6 を形成する。低誘電率材料として、例えばベンゾシクロブテン（B C B）等が用いられる。低誘電率層 4 6 は、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の両側の低い領域を埋め込むと共に、これらの導波路上にも堆積する。

【0034】

図 3 H に示すように、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の上に配置された保護膜 6 7 が露出するまで、低誘電率層 4 6 をエッチバックする。

【0035】

20

図 3 I に示すように、基板表面にマスクパターン 1 0 2 を形成する。マスクパターン 1 0 2 は、図 1 に示した第 1 の埋込部材 4 1 及び第 2 の埋込部材 4 2 の平面形状に対応する。マスクパターン 1 0 2 は、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 よりも外側の領域から、これらの導波路の内側の側面よりもやや内側まで広がる。

【0036】

マスクパターン 1 0 2 をエッチングマスクとして、低誘電率層 4 6 をエッチングする。低誘電率層 4 6 のエッチングには、例えばエッチングガスとして酸素を用いた反応性イオンエッチングが用いられる。これにより、第 1 の変調導波路 2 8 よりも外側に第 1 の埋込部材 4 1 が残り、第 2 の変調導波路 2 9 よりも外側に第 2 の埋込部材 4 2 が残る。第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の内側の側面にも、それぞれ低誘電率材料からなる埋込部材 4 3 及び埋込部材 4 4 が残る。2 つの埋込部材 4 3 及び 4 4 よりも内側に、保護膜 6 7 が露出する。低誘電率層 4 6 のエッチング後、マスクパターン 1 0 2 を除去する。マスクパターン 1 0 2 を除去すると、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の上に形成されている保護膜 6 7 が露出する。

30

【0037】

図 3 J に示すように、露出している保護膜 6 7 を、例えばフッ酸を用いて除去する。第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の上のコンタクト層 6 4 が露出し、第 1 の変調導波路 2 8 と第 2 の変調導波路 2 9 との間に、下部クラッド層 6 1 が露出する。

【0038】

40

図 3 K に示すように、第 1 の信号電極 3 5、第 2 の信号電極 3 6、第 1 の外側接地電極 3 7、第 2 の外側接地電極 3 8、及び内側接地電極 3 9 を形成する。これらの電極は、基板側から順番に A u 層、Z n 層、及び A u 層が順番に形成された積層構造を有する。これらの電極の形成には、蒸着及びリフトオフ法を用いることができる。なお、蒸着により形成された A u 層の上に、A u めっきを施してもよい。

【0039】

最後に、図 2 に示したように、基板 7 0 の背面に、背面電極 7 0 を形成する。背面電極 7 0 は、基板側から順番に A u G e 層と A u 層とが形成された積層構造を有する。

【0040】

次に、第 1 の実施例による光変調器の動作原理について説明する。図 1 に示した第 1 の入力導波路 2 1 及び第 2 の入力導波路 2 2 の一方から光信号を入力する。分波器 2 5 は、

50

入力された光信号を、第 1 の変調導波路 2 8 と第 2 の変調導波路 2 9 とに当分に分波する。

【 0 0 4 1 】

第 1 の信号源 5 1 及び第 2 の信号源 5 2 から、それぞれ第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 に変調信号を入力する。入力された変調信号は、第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 内を伝搬する。終端抵抗とインピーダンスマッチングさせるために、第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 の特性インピーダンスは約 5 0 Ω に設計される。特性インピーダンスは、第 1 の信号電極 3 5、第 2 の信号電極 3 6、第 1 の外側接地電極 3 7、第 2 の外側接地電極 3 8、及び内側接地電極 3 9 の幾何学的形状に依存する。

【 0 0 4 2 】

図 2 において、下部クラッド層 6 1 と上部クラッド層 6 3 との間に、逆バイアス電圧が印加されると、コア層 6 2 内の多重量子井戸層の吸収端が変化する。吸収端が変化すると、クラマーズクロニッヒの関係から、導波路の屈折率が変化する。これにより、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 を伝搬する光信号の位相が変化する。

【 0 0 4 3 】

第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 のいずれにも、変調信号を印加しない場合には、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 を伝搬する光信号は、位相変調を受けず、同相で合波器 3 0 に入力される。第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 に、相互に逆位相の変調信号を印加すると、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 を伝搬する光信号は、相互に異なる位相変調を受ける。これにより、逆位相で合波器 3 0 に入力される。

【 0 0 4 4 】

第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 から、合波器 3 0 に同相で光信号が入力されると、第 2 の出力導波路 3 2 に光信号が出力される。合波器 3 0 に逆位相で光信号が入力されると、第 1 の出力導波路 3 1 に光信号が出力される。このように、変調信号の印加、無印加を切り替えることにより、第 1 の出力導波路 3 1 及び第 2 の出力導波路 3 2 のいずれかが一方から光信号を取り出すことができる。

【 0 0 4 5 】

第 1 の実施例では、内側接地電極 3 8 が、閉じた領域 4 5 内に配置されており、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 のいずれとも重なっていない。さらに、内側接地電極 3 9 は、平面視において、閉じた領域の外側の接地電位が与えられる導電性領域に、基板上の配線を介して接続されない。このため、第 1 の変調導波路 2 8 や第 2 の変調導波路 2 9 を跨ぐエアブリッジの形成等の特殊な工程が不要になり、歩留まりの低下を抑制することができる。

【 0 0 4 6 】

内側接地電極 3 9 を、外側の第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 よりも低い位置に配置することにより、第 1 の信号電極 3 5 及び第 2 の信号電極 3 6 の特性インピーダンスを 5 0 Ω に近づけることができる。

【 0 0 4 7 】

また、第 1 の実施例では、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 の外側に、それぞれ第 1 の埋込部材 4 1 及び第 2 の埋込部材 4 2 が配置されている。第 1 の信号電極 3 5 に連続する第 1 の入力端子 3 5 A 及び第 1 の出力端子 3 5 B は、第 1 の埋込部材 4 1 の上に配置されている。図 2 に示したように、第 1 の変調導波路 2 8 が形成されているメサ部の上面と、第 1 の埋込部材 4 1 の上面との間の段差は、メサ部の上面と、下部クラッド層 6 1 を覆っている保護膜 6 7 の上面との間の段差よりも低い。このため、第 1 の埋込部材 4 1 を配置しない場合に比べて、第 1 の信号電極 3 5、第 1 の入力端子 3 5 A、及び第 2 の出力端子 3 5 B の形成が容易である。同様に、第 2 の信号電極 3 6、第 2 の入力端子 3 6 A、及び第 2 の出力端子 3 5 B の形成が容易である。

【 0 0 4 8 】

図 4 に、基板上方の空間内の電界のシミュレーション結果を示す。図 4 中の矢印は電界

10

20

30

40

50

の向きを表し、矢印の長さが電界の強さを表す。なお、図 4 では、第 2 の信号電極 3 6 に正電圧を印加した場合の電界を示している。内側接地電極 3 9 には、基板表面上の接地用端子から接地電圧が直接供給されることはないが、内側接地電極 3 9 に向かう電界が発生しており、接地電極として十分機能していることが分かる。

【 0 0 4 9 】

図 5 に、電磁界分布シミュレータと光小信号計算により求めた光応答特性を示す。横軸は変調導波路の長さを単位「mm」で表し、縦軸は最大変調帯域幅を単位「GHz」で表す。ここで、「最大変調帯域幅」は、出力導波路に出力される光信号の強度が 3 dB 低下するときの周波数を意味する。

【 0 0 5 0 】

変調導波路の長さが 1 mm、及び 1.5 mm のとき、それぞれ 13 GHz 及び 9 GHz の最大変調帯域幅が得られることがわかる。このように、内側接地電極 3 9 に接地電圧を直接印加しなくても、十分な高速変調が可能である。

【 0 0 5 1 】

次に、図 6 ~ 図 9 を参照して、第 2 ~ 第 5 の実施例について説明する。以下、第 1 の実施例による光変調器との相違点に着目して説明を行い、共通部分については説明を省略する。

【 0 0 5 2 】

図 6 に、第 2 の実施例による光変調器の断面図を示す。第 1 の実施例では、図 2 に示したように、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 を構成するメサ部の側面に、半絶縁性の InP からなる半絶縁性高抵抗膜 6 5 が配置されていたが、第 2 の実施例では、半絶縁性高抵抗膜が配置されていない。保護膜 6 7 が、メサ部の側壁に接する。

【 0 0 5 3 】

第 2 の実施例による光変調器の製造方法では、図 3 B に示したマスクパターン 1 0 0 を除去した後、図 3 C の埋込層 6 5 a を形成することなく、図 3 F に示した保護膜 6 7 が形成される。

【 0 0 5 4 】

メサ部の両側に、保護膜 6 7 を介して低誘電率の埋込部材 4 1 ~ 4 4 が配置されるため、低容量化を図ることができる。また、横方向に関する光閉じ込め効果が強くなるため、効果的な位相変調を行うことが可能になる。このため、第 1 の実施例の光変調器に比べて、最大変調帯域幅が広くなると期待される。

【 0 0 5 5 】

図 7 に、第 3 の実施例による光変調器の断面図を示す。第 3 の実施例では、図 2 に示した第 1 の実施例の光変調器の保護膜 6 7、第 1 の埋込部材 4 1、第 2 の埋込部材 4 2、及び埋込部材 4 3、4 4 が形成されていない。第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 が、下部クラッド層 6 1 の表面に形成される。

【 0 0 5 6 】

第 3 の実施例による光変調器の製造方法では、図 3 E に示したマスクパターン 1 0 1 を除去した後、図 3 K に示した第 1 の信号電極 3 5、第 2 の信号電極 3 6、第 1 の外側接地電極 3 7、第 2 の外側接地電極 3 8、及び内側接地電極 3 9 が形成される。図 1 に示した第 1 の入力端子 3 5 A、第 1 の出力端子 3 5 B、第 2 の入力端子 3 6 A、及び第 2 の出力端子は、半絶縁性高抵抗膜 6 5 の上に形成される。

【 0 0 5 7 】

第 3 の実施例においても、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 と交差する配線を形成する必要がない。

【 0 0 5 8 】

図 8 に、第 4 の実施例による光変調器の断面図を示す。第 4 の実施例では、図 2 に示した第 1 の実施例の光変調器の半絶縁性高抵抗膜 6 5 が配置されていない。さらに、第 1 の外側接地電極 3 7 が配置される領域において、保護膜 6 7 及び第 1 の埋込部材 4 1 が除去されており、第 2 の外側接地電極 3 7 が配置される領域において、保護膜 6 7 及び第 2 の

10

20

30

40

50

埋込部材 4 2 が除去されている。このため、第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 が、下部クラッド層 6 1 の表面に接触する。

【 0 0 5 9 】

第 4 の実施例による光変調器の製造方法では、図 3 B に示したマスクパターン 1 0 0 を除去した後、図 3 C に示した埋込層 6 5 a を形成することなく、図 3 F に示した保護膜 6 7 が形成される。また、図 3 I に示したマスクパターン 1 0 2 の、第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 が配置される領域に開口が形成される。これにより、第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 が配置される領域の第 1 の埋込部材 4 1 及び第 2 の埋込部材 4 2 が除去される。図 3 J に示した保護膜 6 7 のエッチング工程で、第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 が配置される領域の保護膜 6 7 が除

10

【 0 0 6 0 】

第 4 の実施例においても、第 1 の変調導波路 2 8 及び第 2 の変調導波路 2 9 と交差する配線を形成する必要がない。

【 0 0 6 1 】

図 9 に、第 5 の実施例による光変調器の平面図を示す。光変調器が形成された基板 2 0 と同一の基板上に、波長可変半導体レーザ素子 8 0 が形成されている。波長可変半導体レーザ素子 8 0 から出射されるレーザ光が、第 1 の入力導波路 2 1 に入力される。なお、第 2 の入力導波路 2 2 に入力される構成としてもよい。また、波長可変半導体レーザ素子に代えて、固定波長分布帰還型 (D F B) レーザ素子としてもよい。

20

【 0 0 6 2 】

上記第 1 ~ 第 5 の実施例では、基板 2 0 に n 型 I n P を用いたが、その他の化合物半導体を用いてもよいし、p 型 I n P や半絶縁性の I n P を用いてもよい。その場合、下部クラッド層 6 1 は、メサ構造の近傍にのみ形成することが望ましい。p 型 I n P を用いる場合には、下部クラッド層 6 1 を p 型にし、上部クラッド層 6 3 を n 型にする。

【 0 0 6 3 】

基板 2 0 に半絶縁性の I n P を用いる場合には、背面電極 7 0 は形成されない。図 7 及び図 8 に示した第 3 及び第 4 の実施例の構成では、第 1 の外側接地電極 3 7 及び第 2 の外側接地電極 3 8 から、下部クラッド層 6 1 を介して、内側接地電極 3 9 に接地電位が印加される。

30

【 0 0 6 4 】

また、上記第 1 ~ 第 5 の実施例では、コア層 6 2 を多重量子井戸構造としたが、量子細線構造、量子ドット構造、またはバルク構造としてもよい。

【 0 0 6 5 】

また、上記第 1 の ~ 第 5 の実施例では、I n P 基板上に、I n P 系化合物半導体層を成長させて光導波路を形成したが、I n P 基板上に、I n G a A s P 系または A l G a I n A s 系化合物半導体層を成長させて光導波路を形成してもよい。

【 0 0 6 6 】

また、上記第 1 ~ 第 5 の実施例で採用されている光変調器に、駆動電極以外に位相変調用電極を設けてもよい。

40

【 0 0 6 7 】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 8 】

【図 1】第 1 の実施例による光変調器の平面図である。

【図 2】第 1 の実施例による光変調器の断面図である。

【図 3 - 1】第 1 の実施例による光変調器の、製造途中段階における断面図である。

【図 3 - 2】第 1 の実施例による光変調器の、製造途中段階における断面図である。

【図 3 - 3】第 1 の実施例による光変調器の、製造途中段階における断面図である。

50

【図 3 - 4】第 1 の実施例による光変調器の、製造途中段階における断面図である。

【図 4】第 1 の実施例による光変調器の基板上の空間の電界のシミュレーション結果を示す線図である。

【図 5】第 1 の実施例による光変調器の最大変調帯域幅と変調導波路の長さとの関係を示すグラフである。

【図 6】第 2 の実施例による光変調器の断面図である。

【図 7】第 3 の実施例による光変調器の断面図である。

【図 8】第 4 の実施例による光変調器の断面図である。

【図 9】第 5 の実施例による光変調器の平面図である。

【符号の説明】

10

【 0 0 6 9 】

2 0 基板

2 1 第 1 の入力導波路

2 2 第 2 の入力導波路

2 5 分波器

2 8 第 1 の変調導波路

2 9 第 2 の変調導波路

3 0 合波器

3 5 第 1 の信号電極

3 6 第 2 の信号電極

20

3 7 第 1 の外側接地電極

3 8 第 2 の外側接地電極

3 9 内側接地電極

4 1 第 1 の埋込部材

4 2 第 2 の埋込部材

4 3、4 4 埋込部材

4 5 閉じた領域

4 6 低誘電率層

5 1 第 1 の信号源

5 2 第 2 の信号源

30

5 3 第 1 の終端抵抗

5 4 第 2 の終端抵抗

6 1 下部クラッド層

6 2 コア層

6 3 上部クラッド層

6 4 コンタクト層

6 5 半絶縁性高抵抗膜

6 5 a 埋込層

6 7 保護膜

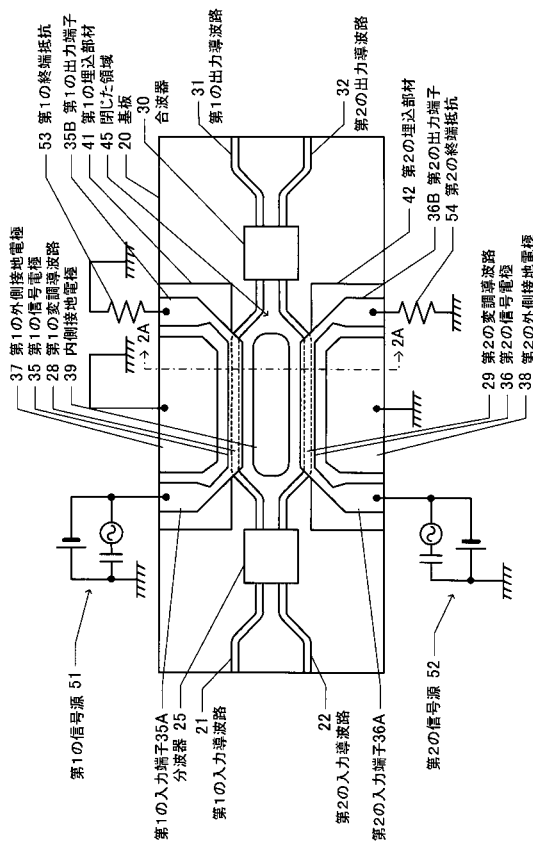
7 0 背面接地電極

40

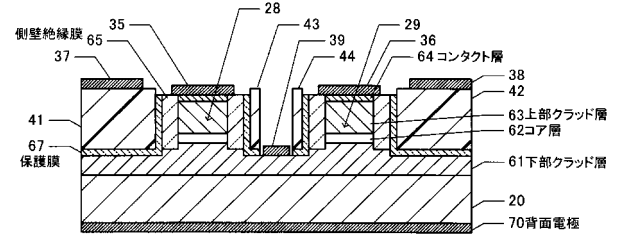
8 0 波長可変半導体レーザ素子

1 0 0、1 0 1、1 0 2 マスクパターン

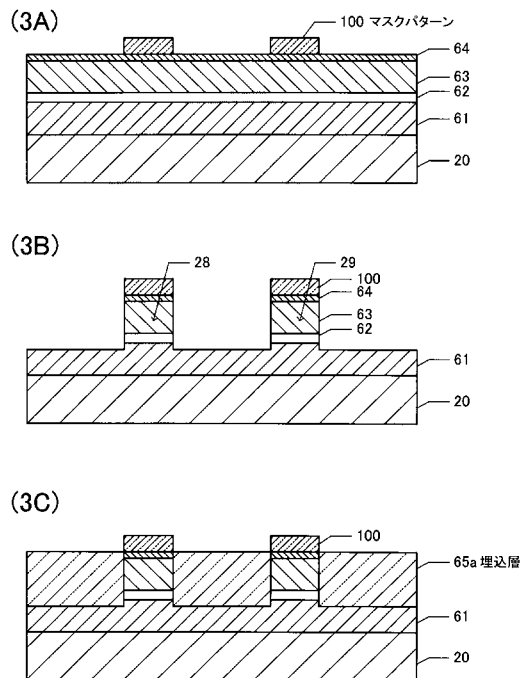
【図 1】



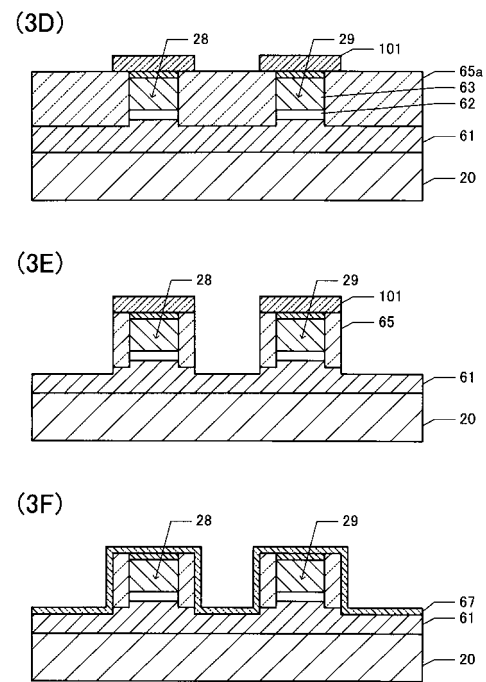
【図 2】



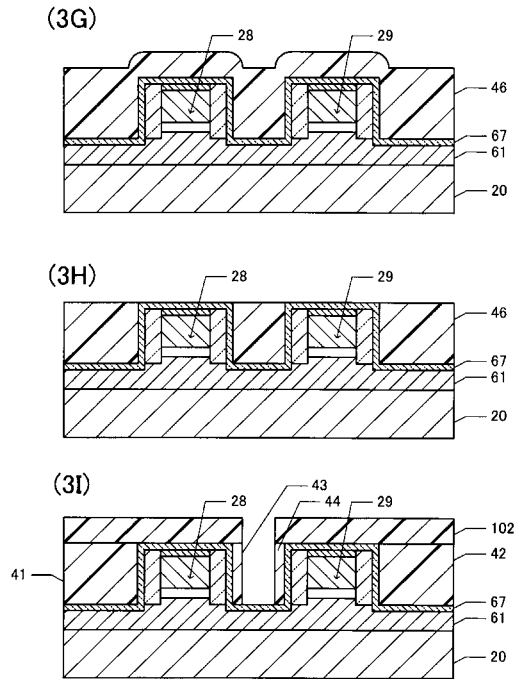
【図 3 - 1】



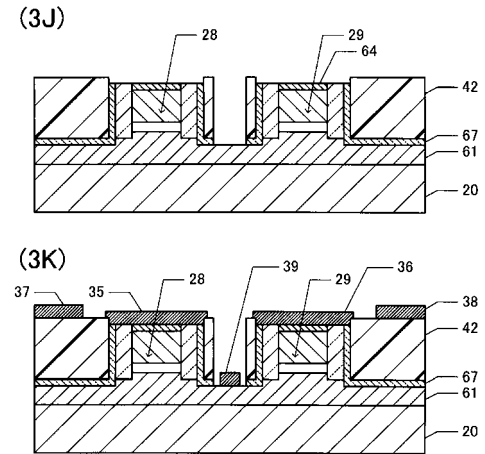
【図 3 - 2】



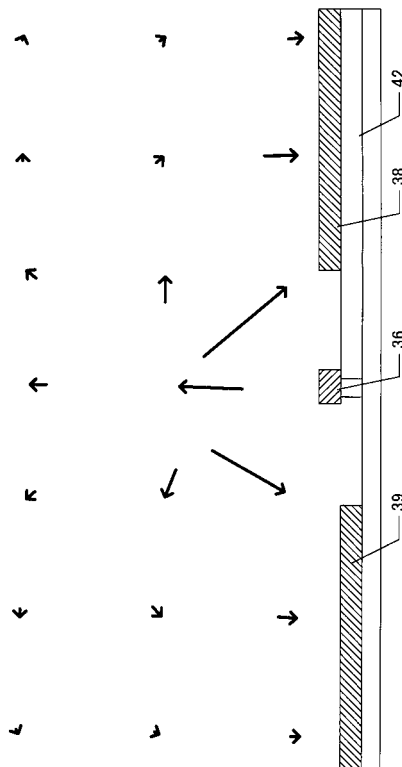
【図 3 - 3】



【図 3 - 4】



【図 4】



【図 5】

