

(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2015-212768

(P2015-212768A)

(43) 公開日 平成27年11月26日(2015.11.26)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2F 1/017 (2006.01)	GO2F 1/017 506	2K102
HO1S 5/026 (2006.01)	GO2F 1/017 503	5F173
	HO1S 5/026 616	

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2014-95352 (P2014-95352)  
 (22) 出願日 平成26年5月2日(2014.5.2)

(71) 出願人 000004226  
 日本電信電話株式会社  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号  
 (74) 代理人 110001243  
 特許業務法人 谷・阿部特許事務所  
 (72) 発明者 佐藤 里江子  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日  
 本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 神徳 正樹  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日  
 本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 菊池 順裕  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日  
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

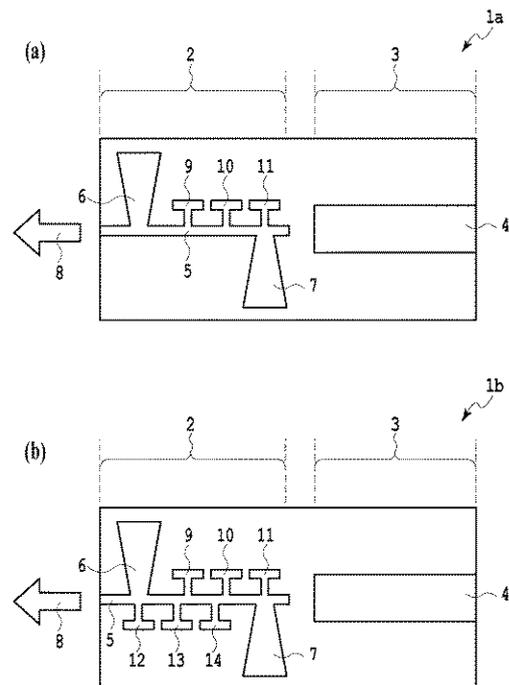
(54) 【発明の名称】 電界吸収型変調器および集積化TW-EA-DFBレーザ

(57) 【要約】

【課題】従来技術のTW-EA-DFBレーザや光変調器では、進行波電極に光導波路上形成されていない領域が存在していた。進行波型電極には、ある一定区間のある一定の割合で、光導波路上で電極が形成されていない領域が存在する。このため、光導波路の単位長さ当たりの変調効率が非効率になる。結果としてon/off比などで十分な特性を持つ光変調器を構成するため、素子長を長くする必要が生じる。レーザ素子の全長が大きくなり、必要変調電圧が高くなり、変調部における光損失が大きくなる問題があった。

【解決手段】本発明の光変調器集積半導体レーザおよび光変調器は、導波路上の進行波型の変調電極に加え、変調電極から分岐して構成された静電容量を付加する子電極（分岐電極）を備える。子電極は、静電容量付加部として光変調器の光導波路とは光学的に結合していない導波路状の構成を持つことができる。子電極は、例えばT字状またはL字状の形状のもので、変調電極の片側または両側に、離間して複数個備えることができる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 の導電性半導体クラッド層と、ノンドープ半導体コア層と、第 2 の導電性半導体クラッド層とが順次積層して形成された導波路構造を有する少なくとも 1 本の光導波路を備え、前記ノンドープ半導体コア層への電圧印加によって光の吸収特性を変化させる電界吸収型半導体変調器において、

前記少なくとも 1 本の光導波路のコア層へ、変調信号を印加する進行波型の変調電極と

、  
前記変調電極から分岐し、前記少なくとも 1 本の光導波路から光学的に結合しない位置において静電容量を付加する構造を持つ 1 つ以上の分岐電極と

を備えたことを特徴とする電界吸収型半導体変調器。

10

## 【請求項 2】

前記分岐電極は、

前記変調電極から概ね垂直に分岐する分岐部分と、

前記分岐部分から前記変調電極に概ね平行に沿って伸び、その下に、前記第 1 の導電性半導体クラッド層、前記ノンドープ半導体コア層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層が順次積層して形成された導波路構造を有し、前記少なくとも 1 本の光導波路と光学的に結合しない静電容量付加部分と

を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電界吸収型半導体変調器。

## 【請求項 3】

前記分岐電極は、前記変調電極に沿って離間して配置された複数の分岐電極から構成されるか、または、

前記分岐電極は、前記変調電極の両側に、前記変調電極に沿って離間して配置された複数の分岐電極から構成されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の電界吸収型半導体変調器。

20

## 【請求項 4】

前記第 1 の導電性半導体クラッド層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層は、一方が n 型半導体であって、他方が p 型半導体であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の電界吸収型半導体変調器。

## 【請求項 5】

前記第 1 の導電性半導体クラッド層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層の両方が n 型半導体であって、

前記ノンドープ半導体コア層と前記第 1 の導電性半導体クラッド層との間、または、前記ノンドープ半導体コア層と前記第 2 の導電性半導体クラッド層との間の少なくともいずれかに、p 型の第 3 の導電性半導体クラッド層が挿入されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の電界吸収型半導体変調器。

30

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 いずれかに記載の電界吸収型半導体変調器、および、

素子内部に回折格子を有する分布帰還型半導体レーザが、同一の半導体基板上に集積されたことを特徴とする進行波電極付き電界吸収型変調器集積半導体レーザ。

40

## 【請求項 7】

第 1 の導電性半導体クラッド層と、ノンドープ半導体コア層と、第 2 の導電性半導体クラッド層とが順次積層して形成された導波路構造を有する少なくとも 1 本の光導波路を備え、前記ノンドープ半導体コア層への電圧印加によって光の吸収特性を変化させる電界吸収型半導体変調器において、

前記少なくとも 1 本の光導波路のコア層へ、変調信号を印加する進行波型の変調電極と

、  
前記変調電極から分岐し、前記少なくとも 1 本の光導波路から光学的に結合しない位置において静電容量を付加する構造を持つ 1 つ以上の分岐電極と

を備え、

50

前記分岐電極は、

前記変調電極から概ね垂直に分岐する分岐部分と、

前記分岐部分から前記変調電極に概ね平行に沿って伸び、その下に、前記第1の導電性半導体クラッド層、前記ノンドープ半導体コア層および前記第2の導電性半導体クラッド層が順次積層して形成された導波路構造を有し、前記少なくとも1本の光導波路と光学的に結合しない静電容量付加部分と

を有することを特徴とする電界吸収型半導体変調器。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は、光通信に利用される光変調器に関する。より詳細には、進行波型の半導体光変調器および半導体光変調器を集積化したTW-EA-DFBレーザに関する。

【0002】

インターネットの普及に伴うネットワーク量の爆発的な増大により、光ファイバ伝送の高速・大容量化が進んでいる。半導体レーザをはじめとして、光通信における光送信装置に利用される光デバイスにも、高速、大容量化が求められている。光送信装置における電界吸収型(EA: Electro Absorption)変調器は、素子寸法が小さく、駆動電圧も低いという優れた特徴を持っている。EA-DFBレーザは、EA変調器および分布帰還型(DFB: Distributed FeedBack)レーザを集積した光通信用光源であり、現在、伝送速度10Gb/s~40Gb/sに対応のものが広く実用化されている。現在のEA-DFBレーザは、集中定数型の電極を有するものが利用されており、EA変調器の動作速度は素子の寄生静電容量(電気容量)に制限される。

【0003】

図4は、従来技術の集中定数型電極のEA-DFBレーザの構成を説明する図である。図4の(a)は、斜め上から導波路構造を導波路に沿って切り取って見た三次元断面図である。図4の(b)は、EA-DFBレーザを真上から見てより簡略化して示した図である。図4の(a)に示すように、EA-DFB100はDFBレーザ101とEA変調器103をn-InP基板109上に集積したものである。DFBレーザの活性層105とEA変調器の光吸収層108はともにInGaAsP/InGaAsP多重量子井戸(MQW: Multi Quantum Well)構造からなり、バットジョイント106によって接続されている。活性層105および光吸収層108の上には、p-InP層107がありメサ状に加工されたのち、半絶縁(SI: Semi Insulating)InP104によって埋め込まれている。図4の(b)も参照すると、DFBレーザ101の電極112とEA変調器103の電極111との間には分離溝102が設けられている。EA変調器の電極111にはワイヤを打つためのパッド電極110が設けられている。DFBレーザ101の長さは例えば450μm、EA変調器の長さは例えば150μmである。

【0004】

図4の集中定数型電極のEA-DFBレーザで可能な伝送速度を越えて、さらに40Gb/sを超える伝送速度の高速大容量通信に対応するのが、動作速度が寄生静電容量に制限されない進行波(TW: Travelling Wave)電極構造を有するTW-EA-DFBレーザである。

【0005】

図5は、従来技術のTW-EA-DFBレーザの電極構成を説明する図である。図4の(a)と同様にレーザの構成面を真上から見た図であって、図4の(b)の構成と対比して描いている。TW-EA-DFBレーザ200は、DFBレーザ部201およびEA変調器部203を備え、両者は分離溝202によって分離されている。図4に示したEA-DFBレーザと構成上の違いは、進行波型電極と呼ばれるEA変調器部203の電極構成にある。進行波電極の構成では、EA変調器203の両端にマイクロ波信号の入力部212および出力部210が設けてある。この極構造により、入力部212から入ったマイクロ波電気信号は、変調器電極211上をDFBレーザ213からの入射光と同方向に併走

10

20

30

40

50

して光に相互作用を及ぼした後、出力部 2 1 0 から終端抵抗によって終端される。その結果、E A 変調器部 2 0 3 の電極を伝送線路として見なすことが可能となり、変調器全体の電気容量によって動作周波数が制限されなくなる。このため、T W - E A - D F B レーザでは高帯域な変調動作が可能になる。D F B レーザ部 2 0 1 の長さは例えば 4 0 0 μ m、E A 変調器 2 0 3 の長さは例えば 2 0 0 μ m である。(非特許文献 1 を参照)

【 0 0 0 6 】

図 5 に示した進行波電極は、光吸収層を導波する光波の速度と、変調器電極 2 1 1 を伝搬するマイクロ波電気信号の速度とをできるだけ一致させ、両者の位相整合をとるようにすることで、変調帯域を上げることができる電極構造である。マイクロ波電気信号のロスがなく、光波とマイクロ波電気信号との間の速度整合条件が完全に満足されれば、変調帯域は無限大になる。実際には、光波とマイクロ波電気信号と間で位相ずれが起こり、これにより変調帯域が制限される。より具体的には、入力部 2 1 2 および出力部 2 1 3 の間の特性インピーダンスは例えば、5 0 Ω に設計される。進行波電極のインピーダンスが特性インピーダンス 5 0 Ω からずれると電気的な反射が起こり、マイクロ波電気信号を効率的に電極に印加できなくなる。そこで、インピーダンスを 5 0 Ω に近づけ、変調帯域を延ばすための改善された構造が提案されている(非特許文献 2 を参照)。

【 0 0 0 7 】

図 6 は、別の従来技術の T W - E A - D F B レーザの電極構成を説明する図である。図 6 の ( a ) は斜め上から見て B C B (ベンゾシクロブテン) 3 1 1 通して内部を透視した三次元図であり、図 6 の ( b ) は E A - D F B レーザを真上から見てより簡略化して示した図である。T W - E A - D F B レーザ 3 0 0 は、D F B レーザ部 3 2 1 および変調器部 3 2 2 からなり、n 型基板 3 0 6 上の形成された Q W 層 3 0 5、活性層 3 1 2、D F B レーザ電極 3 0 1 などから構成される。ここでは、変調器の電極に絞って説明すれば、入力パッド 3 0 3 に入力されたマイクロ波電気信号は、変調器電極を経て、終端抵抗 3 0 1 に至る。変調器電極は、3 つに分割された進行波電極 (Active TWEAM segments) 3 0 9 a、3 0 9 b、3 0 9 c を、接続用の電極 3 0 8 a、3 0 8 b によって接続した構造を持つ。この構成は、接続用の電極 3 0 8 a、3 0 8 b によって進行波電極にインダクタンス L を付与するのと等価になり、この L によって進行波電極のインピーダンスを調整することができる。進行波電極のインピーダンスを調整は、以下のように実現できる。

【 0 0 0 8 】

高速な光変調器の実現には、進行波型電極構造が有用である。進行波型電極構造では、インピーダンス整合および光変調器における光と電気信号との間の速度整合が重要となる。電気信号に対する伝送線路モデルでは、特性インピーダンス  $Z_0$  および伝播定数  $\gamma$  は次式によって表される。

【 0 0 0 9 】

【 数 1 】

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad \text{式 (1)}$$

【 0 0 1 0 】

【 数 2 】

$$\gamma = \sqrt{(R + i\omega L)(G + j\omega C)} \quad \text{式 (2)}$$

【 0 0 1 1 】

ここで、R、G、L、C はそれぞれ単位長さ当たりの抵抗、コンダクタンス、インダクタンス、キャパシタンスを表しており、 $Z_0$ 、 $\gamma$ 、L、R、C、G の場合、特性インピーダンス  $Z_0$  および伝播定数  $\gamma$  はさらに次式で表される。

【 0 0 1 2 】

10

20

30

40

【数 3】

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{式 (3)}$$

【0013】

【数 4】

$$\gamma \approx j\omega\sqrt{LC} \quad \text{式 (4)}$$

【0014】

この時、電気信号の速度  $v$  は、次式によって表される。

【0015】

【数 5】

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{式 (5)}$$

【0016】

式 (5) は、光変調器の高周波配線部におけるインダクタンス成分  $L$  または容量成分  $C$  を制御することによって、特性インピーダンス  $Z_0$  および電気信号の速度  $v$  を調整することができることを定性的に示している。すなわち、図 6 の TW - EA - DFB レーザ 300 では、式 (3) および式 (5) に基づいて、接続用の電極 308a、308b をインピーダンスおよび電気信号の速度を調整するためのインダクタンスとして用いている。

【0017】

具体的なインピーダンス整合条件としては、進行波型電極構造のインピーダンス  $Z_0$  が外部電気回路のインピーダンスである 50 に近い値になることが望ましい。具体的なインピーダンス整合条件としては、外部電気回路の特定インピーダンスである 50 から  $\pm 10$  程度の範囲の誤差であれば許容できる。進行波型電極構造のインピーダンス  $Z_0$  が 50 からずれると、電気信号の反射が起こり、進行波型電極へ効率的に電圧を印加できなくなる。

【0018】

また、光と電気信号との間の速度差による制限を受ける場合の、変調信号の周波数帯域  $f$  は、光速を  $c$ 、光導波路を伝搬する光の群速度を  $v_0$ 、電極長を  $l$  として、次のように表される。

【0019】

【数 6】

$$\Delta f \approx \frac{1.4c}{\pi \times \left| \frac{1}{v_0} - \frac{1}{v} \right| \times l} \quad \text{式 (6)}$$

【0020】

式 (6) から、光の群速度  $v_0$  と電気信号の速度  $v$  とが一致した時に最大の周波数帯域を得ることができることがわかる。光の群屈折率  $n_{opt}$  は、3.4 ~ 3.7 程度であり、所望の周波数帯域および電極長により、許容される電気の屈折率の範囲は決定される。例えば、帯域を 40 GHz で電極長 3 mm とすると、許容される光の群屈折率と電気の屈折率との間の差は、 $\pm 1.1$  程度の範囲内となる。以上述べたように、図 6 の TW - EA - DFB レーザでは、最適なインダクタンスの付加量を設計することによって、光波とマイクロ波電気信号との間の速度整合を向上させることができる。同時に、進行波電極の 50 の特性インピーダンスへの整合も取れるようになり、その結果、高速な変調が可能になった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0021】

10

20

30

40

50

【非特許文献 1】Ho Gyeong Yun et.al, " Fabrication and Characteristics of 40 Gb/s Travelling wave Electroabsorption Modulator Integrated DFB Lase Modules ", IE EE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 31, No. 2, May 2008

【非特許文献 2】Marek Chacinski et al., " Monolithically Integrated DFB LD for 1 00 Gb/s Ethernet ", IEEE Electron Device Letters, vol. 29, no. 12, pp. 1312 1314 , Dec. 2008

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 2 2 】

しかしながら、図 6 に示した T W - E A - D F B レーザの構成は、進行波型電極として重要な 5 0 インピーダンス整合およびマイクロ波と光波との間の位相整合条件を満たすために、変調効率を低下させていた問題があった。図 6 の ( a ) からわかるように、3 つの進行波電極 3 0 9 a、3 0 9 b、3 0 9 c の間には、電極が光導波路上形成されていない領域が存在する。図 6 の ( b ) に示した上面図からもわかるように、変調器部 3 2 2 において、入力電極 3 2 5 から出力電極 3 2 4 までの進行波型電極が構成されている領域には、ある一定区間のある一定の割合で、光導波路上で電極が形成されていない領域 3 1 0 a、3 1 0 b が存在する。すなわち、この電極が形成されていない領域 3 1 0 a、3 1 0 b では、光導波路に電界を掛けることができず、変調に寄与しない領域（非変調領域）となる。このため、光導波路の単位長さ当たりの変調効率としては非効率になる。結果として、o n / o f f 比などにおいて十分な特性を持つ光変調器を構成するためには、素子長を長くする必要が生じる。このような場合、T W - E A - D F B レーザの素子の全長が大きくなったり、必要な変調電圧が高くなったり、変調部における光損失が大きくなったりするなどの欠点があった。

【 0 0 2 3 】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、インピーダンス整合およびマイクロ波と光波との間の位相整合条件を満たし、かつ非変調領域が存在しない、高効率で小型の進行波型の半導体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】

【 0 0 2 4 】

本発明はこのような目的を達成するために、請求項 1 の発明は、第 1 の導電性半導体クラッド層と、ノンドープ半導体コア層と、第 2 の導電性半導体クラッド層とが順次積層して形成された導波路構造を有する少なくとも 1 本の光導波路を備え、前記ノンドープ半導体コア層への電圧印加によって光の吸収特性を変化させる電界吸収型半導体変調器において、前記少なくとも 1 本の光導波路のコア層へ、変調信号を印加する進行波型の変調電極と、前記変調電極から分岐し、前記少なくとも 1 本の光導波路から光学的に結合しない位置において静電容量を付加する構造を持つ 1 つ以上の分岐電極とを備えたことを特徴とする電界吸収型半導体変調器である。

【 0 0 2 5 】

請求項 2 の発明は、請求項 1 の電界吸収型半導体変調器であって、前記分岐電極は、前記変調電極から概ね垂直に分岐する分岐部分と、前記分岐部分から前記変調電極に概ね平行に沿って伸び、その下に、前記第 1 の導電性半導体クラッド層、前記ノンドープ半導体コア層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層が順次積層して形成された導波路構造を有し、前記少なくとも 1 本の光導波路と光学的に結合しない静電容量付加部分とを有することを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

ここで、分岐電極は、各実施形態における子電極に対応する。また、分岐部分は、子電極の実施形態における変調（進行波）電極から垂直に分岐する部分に対応する。また、静電容量付加部分は、実施形態における変調電極に沿って概ね平行に形成された子電極の部分に対応する。

【 0 0 2 7 】

10

20

30

40

50

請求項 3 の発明は、請求項 1 または 2 の電界吸収型半導体変調器であって、前記分岐電極は、前記変調電極に沿って離間して配置された複数の分岐電極から構成されるか、または、前記分岐電極は、前記変調電極の両側に、前記変調電極に沿って離間して配置された複数の分岐電極から構成されることを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

請求項 4 の発明は、請求項 1 乃至 3 いずれかの電界吸収型半導体変調器であって、前記第 1 の導電性半導体クラッド層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層は、一方が n 型半導体であって、他方が p 型半導体であることを特徴とする。

【 0 0 2 9 】

請求項 5 の発明は、請求項 1 乃至 3 いずれかの電界吸収型半導体変調器であって、前記第 1 の導電性半導体クラッド層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層の両方が n 型半導体であって、前記ノンドープ半導体コア層と前記第 1 の導電性半導体クラッド層との間、または、前記ノンドープ半導体コア層と前記第 2 の導電性半導体クラッド層との間の少なくともいずれかに、p 型の第 3 の導電性半導体クラッド層が挿入されていることを特徴とする。

【 0 0 3 0 】

請求項 6 の発明は、請求項 1 乃至 5 いずれかに記載の電界吸収型変調器、および、素子内部に回折格子を有する分布帰還型半導体レーザが、同一の半導体基板上に集積されたことを特徴とする進行波電極付き電界吸収型変調器集積半導体レーザである。

【 0 0 3 1 】

請求項 7 に記載の発明は、第 1 の導電性半導体クラッド層と、ノンドープ半導体コア層と、第 2 の導電性半導体クラッド層とが順次積層して形成された導波路構造を有する少なくとも 1 本の光導波路を備え、前記ノンドープ半導体コア層への電圧印加によって光の吸収特性を変化させる電界吸収型半導体変調器において、前記少なくとも 1 本の光導波路のコア層へ、変調信号を印加する進行波型の変調電極と、前記変調電極から分岐し、前記少なくとも 1 本の光導波路から光学的に結合しない位置において静電容量を付加する構造を持つ 1 つ以上の分岐電極とを備え、前記分岐電極は、前記変調電極から概ね垂直に分岐する分岐部分と、前記分岐部分から前記変調電極に概ね平行に沿って伸び、その下に、前記第 1 の導電性半導体クラッド層、前記ノンドープ半導体コア層および前記第 2 の導電性半導体クラッド層が順次積層して形成された導波路構造を有し、前記少なくとも 1 本の光導波路と光学的に結合しない静電容量付加部分とを有することを特徴とする電界吸収型半導体変調器である。

【発明の効果】

【 0 0 3 2 】

以上説明したように、本発明の子電極を持つ進行波電極の構成によって、インピーダンス整合およびマイクロ波と光波との間の位相整合条件を満たし、さらに非変調領域の無い高効率で小型の進行波型の半導体光変調器を提供することができる。この半導体光変調器を集積化した電界吸収型変調器集積半導体レーザも実現できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 3 】

【図 1】図 1 は、本発明の進行波電極付き電界吸収型光変調器集積半導体レーザの各実施形態の構成を説明する図である。

【図 2】図 2 は、本発明の電界吸収型光変調器集積半導体レーザの進行波電極部分を斜め上から見た構成図である。

【図 3】図 3 は、本発明の電界吸収型光変調器集積半導体レーザの進行波電極部分の各部の断面を示す図である。

【図 4】図 4 は、従来技術の集中定数型電極の E A - D F B レーザの構成を説明する図である。

【図 5】図 5 は、従来技術の T W - E A - D F B レーザの電極構成を説明する図である。

【図 6】図 6 は、別の従来技術の T W - E A - D F B レーザの電極構成を説明する図であ

10

20

30

40

50

る。

【発明を実施するための形態】

【0034】

本発明の光変調器集積半導体レーザまたは光変調器は、導波路上の進行波型の変調電極に加えて、変調電極から分岐して構成された静電容量を付加する子電極（分岐電極）を備えている。この子電極は、静電容量付加部として光変調器の光導波路とは光学的に結合していない導波路状の構成を持つことができる。子電極は、これに限定されないが、例えばT字状またはL字状の形状のものとするのが可能であって、変調電極の片側にまたは両側に、離間して複数個を備えることができる。

【0035】

子電極の数、配置する間隔、分岐する部分の長さ、導波路への接触長などを最適に設計することで、静電容量の付加量を自由に設計することができる。光波とマイクロ波電気信号との間の位相整合を向上させることができるとともに、特性インピーダンスの例えば50に対して良好なインピーダンス整合も実現可能となる。従来技術のように、変調に寄与しない領域（非変調領域）が存在せず、変調効率をより高めることができる。TW-EA-DFBレーザの素子の全長が大きくなったり、必要な変調電圧が高くなったり、変調部における光損失が大きくなったりするなどの問題を克服することができる。

【0036】

以下に、図面を参照しながら本発明の各実施形態について説明をする。以下の説明では、進行波型電極付き電界吸収型光変調器集積半導体レーザでの構成例について説明するが、本発明の電極構造が、電界吸収型光変調器の単体にもそのまま適用できることは言うまでもない。

【0037】

（第1の実施形態）

図1の(a)は、本発明の進行波電極付き電界吸収型光変調器集積半導体レーザの第1の実施形態の構成を説明する図である。光変調器集積半導体レーザ1aの構成は、図5に示した従来技術のTW-EA-DFBレーザ200構成と同様であり、分布帰還型(DFB)レーザ部3と、電界吸収型(EA)変調器部2を集積したものである。DFBレーザ部3で発生した光信号は、EA変調器部2において高周波電気信号によって変調を受け、信号光8が出力される。図5の構成との相違点は、進行波電極5に沿って形成された1つ以上の子電極9~11にある。

【0038】

図1の(a)の半導体レーザ1aは、図5に示した従来技術のTW-EA-DFBレーザ200の構成と同様に、入力電極7から出力電極6までの進行波電極を用い、光吸収層を導波する光波の速度と、進行波電極5を伝搬するマイクロ波電気信号の速度とをできるだけ一致させ、両者の位相整合をとるようにするよう動作する。これによって、変調器における変調帯域を拡大することができる。本発明ではさらに、進行波電極5から分岐し、分岐後に再び進行波電極5に沿うように構成された子電極9~11を設ける。子電極9~11は、進行波電極5に対して静電容量を付加するよう動作する。子電極の数、配置する間隔、分岐する部分の長さ、導波路への接触長などを最適に設計することで、静電容量の付加量を自由に設計することができる。光波とマイクロ波電気信号との間の位相整合を向上させることができるとともに、特性インピーダンスの50に対して良好なインピーダンス整合も実現可能となる。その結果、高速で広帯域な変調が可能になる

図1の(a)で示した構成では、図面の上では、進行波電極5に対して子電極を3個形成した例を示したが、その数は3個だけに限定されない。1個でも、2個でも、または3個より多くても構わない。

【0039】

図2は、本発明の光変調器集積半導体レーザにおける進行波電極部分を斜め上からみた構成を示す図である。図2で、進行波電極29は、図面の手前の断面で示されたメサ構造の光導波路22の上部に形成されている。子電極は、進行波電極29からその長さ方向に

10

20

30

40

50

垂直に分岐して進行波電極 29 から離れた後（分岐部分 30 b）、再び進行波電極 29 に平行に沿うように伸びている（静電容量付加部分 30 a）。進行波電極および子電極（分岐電極）の構造をさらにその断面について説明する。

図 3 は、本発明の光変調器集積半導体レーザにおける電極部分の各部の断面を示す図である。図 3 の（a）は図 2 の a - a' の断面を、（b）は図 2 の b - b' の断面を、（c）は図 2 の c - c' の断面をそれぞれ示す。図 3 の（a）を参照すると、a - a' の断面では、進行波電極 29 のみが存在している状態が示されている。ただし、子電極は進行波電極 29 の右側に、図面の奥にあるものとして描かれていることに注意されたい。図 2 に示した変調器集積半導体レーザの変調器部分は、下部クラッド層 21、コア層 23、上部クラッド層 26 が順次形成され、メサ構造を持っている。メサの両側は絶縁層 28 で埋め込まれ、メサ構造に沿って絶縁層 28 の上には進行波電極 29 が形成されている。光波は、進行波電極 29 の下のコア層 23 を伝搬する。上部クラッド層は、例えば p - InP によって作製され、コア層はノンドープの多重量子井戸（i - MQW）によって、下部クラッド層は n - InP によって作製することができる。これらの材料は、InP 系だけでなく GaAs 系も適用可能である。

#### 【0040】

次に図 3 の（b）を参照すると、進行波電極 29 から子電極が分岐する部分にあるコア層 23 に加え、子電極 30 a の直下にもコア層 25 およびその上部クラッド層 27 が形成されている。さらに図 3 の（c）を参照すれば、子電極は、進行波電極 29 から子電極が分岐する分岐部分 30 b と、進行波電極 29 から離れるまで伸びた後で、進行波電極 29 に沿って概ね平行に子電極をさらに形成させる領域 30 a（静電容量付加部分）を持っている。子電極 30 a の直下には、進行波電極 29 の下にあるメサ構造と同様の導波路構造が形成されている。

#### 【0041】

図 3 の（c）に示したように、子電極 30 a の下にも下部クラッド層 21、コア層 25、上部クラッド層 27 が形成されている。子電極の下に、メサ構造の光導波路と同様の構成を持つことによって、子電極 30 a（静電容量付加部分）は一定の素子容量を持つことができる。通常、下部クラッド 21 は導電性を持っているので、進行波電極 29 と下部クラッド 21 の間には、導電性の無いコア層 23 および上部クラッド 26 を介して第 1 の容量素子が構成される。同様に、子電極 30 a と下部クラッド 21 の間には、導電性の無いコア層 25 および上部クラッド 27 を介して第 2 の容量素子が構成される。下部クラッド層 21 は、通常接地されることになるので、等価的には、進行波電極 29 下のコア層 23 で構成されるコンデンサと、子電極（静電容量付加部分）30 a 下のコア層 25 で構成されるコンデンサとが直列接続された静電容量が、進行波電極 29 に並列に付加されることになる。なお、子電極 30 a の下のコア層 25 には光波が導波することはない。子電極 30 a の下のコア層 25 は、変調器のメサ型の導波路 22 から光学的に結合しない位置において静電容量を付加するように機能する。

#### 【0042】

子電極 30 a、30 b によって、進行波電極 29 に静電容量を付加する導波路構造は、本発明の MZ 光変調器において光導波路の機能を果たす必要はない。このため、子電極の幅、進行波電極との距離、長さ等の構成寸法を、光導波路としての機能を一切考慮せずに自由に設計できることになる。さらに、光導波路と相互作用をする主線路（進行波電極）は、電極の無い部分が存在せず、全域にわたって光導波路上に進行波電極が形成される。このため、図 5 に示した従来技術の TW - EA - DFB レーザのような変調に寄与しない部分は存在せず、変調効率が劣化することもない。

#### 【0043】

したがって本発明は、進行波電極付き電界吸収型光変調器集積半導体レーザにおける電界吸収型半導体変調器として実現可能である。すなわち本発明は、第 1 の導電性半導体クラッド層と、ノンドープ半導体コア層と、第 2 の導電性半導体クラッド層とが順次積層して形成された導波路構造を有する少なくとも 1 本の光導波路を備え、前記ノンドープ半導

10

20

30

40

50

体コア層への電圧印加によって光の吸収特性を変化させる電界吸収型半導体変調器において、前記少なくとも1本の光導波路のコア層へ、変調信号を印加する進行波型の変調電極と、前記変調電極から分岐し、前記少なくとも1本の光導波路から光学的に結合しない位置において静電容量を付加する構造を持つ1つ以上の分岐電極とを備えたことを特徴とする電界吸収型半導体変調器として適用できる。

【0044】

さらに、前記分岐電極は、前記変調電極から概ね垂直に分岐する分岐部分と、前記分岐部分から前記変調電極に概ね平行に沿って伸び、その下に、前記第1の導電性半導体クラッド層、前記ノンドープ半導体コア層および前記第2の導電性半導体クラッド層が順次積層して形成された導波路構造を有し、前記少なくとも1本の光導波路と光学的に結合しない静電容量付加部分とを有することになる。

10

【0045】

図1の(a)の構成において、コア層23の厚みは1 $\mu$ m、コア層23の幅は2 $\mu$ mである。コア層23とコア層25との間隔は10 $\mu$ mである。なお、通常の構成では下部クラッド層21はn-InPであり、上部クラッド層26、27はp-InPであるが、n層とp層が逆でも構わない。またInPに限らず、GaAs、InGaAs、InGaAsP、InGaAlAs、AlGaAs、InGaNAs、GaAsN、InAlN、AlGaN、GaN等の組成でも構わない。コア層23はGaAs、InGaAs、InGaAsP、InGaAlAs、AlGaAs、InGaNAs、GaAsN、InAlN、AlGaN、GaN等を組み合わせたMQW構造でもよければ、バルク構造でも構わない。

20

【0046】

子電極の形状は、図1および図2で示したようにT字型形状のものとすることができるが、この形状だけに限定されない。進行波電極29に平行な部分が片方だけのL字型構成でも良い。子電極の各部の幅も一様である必要はない。また、進行波電極に平行でない構成も取り得る。さらには、子電極に容量を与える部分の構成は、図3の(b)および(c)に示した上部クラッド27およびコア層25のように、必ずしも進行波電極29の下の光導波路と同一の構造でなくても良い。光変調器の作製工程に適合する限り、下部クラッド層21と子電極との間で静電容量を生じ得る材料および構造であれば、メサ構造の光導波路の構成に限られない。

30

【0047】

(第2の実施形態)

図1の(b)は、本発明の進行波電極付き電界吸収型光変調器集積半導体レーザの第2の実施形態の構成を説明する図である。本実施形態の光変調器集積半導体レーザは、図1の(a)と基本的に同じ構成であるが、進行波電極の一方側の子電極9~11に加えて、反対側にさらに子電極12~14を持ち、進行波電極の両側に子電極を持つことだけが異なる。本実施形態のように進行波電極の両側に沿って子電極を持つことよって、従来技術のTW-EA-DFBレーザにあるような変調に寄与しない部分は存在せず、変調効率が劣化することもない。進行波電極の両側に子電極を持つことより、子電極の幅や長さ等の設計の自由度がさらに増え、変調器部の本体を含めてより自由に回路構成を設計できるようになる。

40

【0048】

尚、図1の(b)に示した構成においては、進行波電極の両側にある子電極の数や形状は同一のものを規則的に並べて配置したものとして描いてあるが、進行波電極の両側の間で分岐する位置がずれていたり、数が異なっていたりしても構わないし、形状が異なっても構わない。また、個々の子電極の形状が異なるものであっても良い。

【0049】

上述の各実施形態では、導波路の各層を様々な半導体材料によって構成できる。例えば、下部クラッド層21、コア層23および上部クラッド層26が順次形成された導波路では、第1の導電性半導体クラッド層(下部クラッド層)および第2の導電性半導体クラッ

50

ド層（上部クラッド層）は、一方がn型半導体であって、他方がp型半導体であり得る。また、第1の導電性半導体クラッド層および第2の導電性半導体クラッド層の両方がn型半導体であって、ノンドープ半導体コア層と第1の導電性半導体クラッド層との間、または、ノンドープ半導体コア層と第2の導電性半導体クラッド層との間の少なくともいずれかに、p型の第3の導電性半導体クラッド層が挿入されても良い。

【0050】

以上詳細に説明したように、本発明の子電極を持つ進行波電極の構成によって、インピーダンス整合およびマイクロ波と光波との間の位相整合条件を満たし、さらに非変調領域が存在しない、高効率で小型の進行波型の半導体光変調器および光変調器と集積化したTW-EA-DFBレーザを提供することができる。

10

【産業上の利用可能性】

【0051】

本発明は、一般的に通信システムに利用することができる。特に、光通信システムの送光信装置などに利用できる。

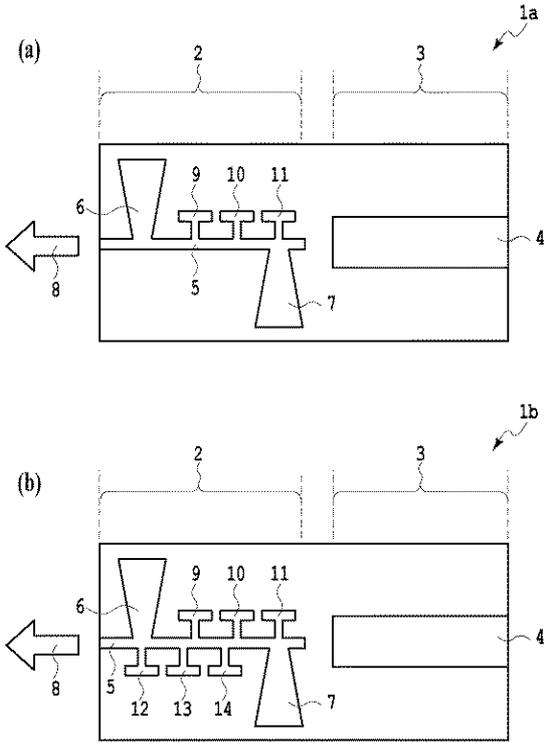
【符号の説明】

【0052】

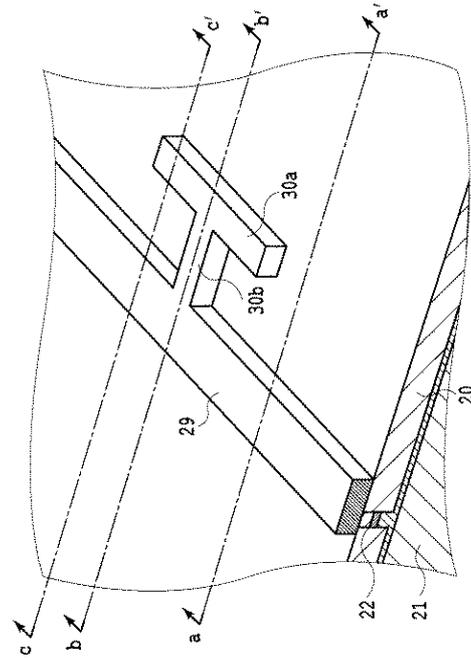
- 1 a、1 b、1 0 0、2 0 0、3 0 0 TW-EA-DFBレーザ
- 2、1 0 3、1 1 1、2 0 3、3 2 2 変調器部
- 3、1 0 1、2 0 1、3 2 1 DFBレーザ部
- 4、1 1 2、2 1 3、3 0 1 レーザ電極
- 5、2 9、2 1 1、3 0 9 a、3 0 9 b、3 0 9 c 進行波電極（変調電極）
- 7、2 1 2、3 0 3 入力電極
- 6、2 1 0、3 0 3 出力電極
- 9～1 4、3 0 a、3 0 b 子電極（分岐電極）
- 2 1 下部クラッド層
- 2 2 メサ構造
- 2 3、2 5 コア層
- 2 6、2 7 上部クラッド層

20

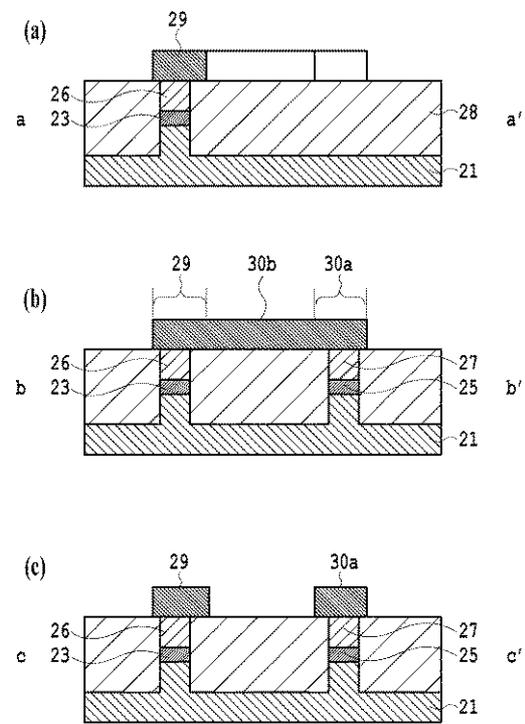
【 図 1 】



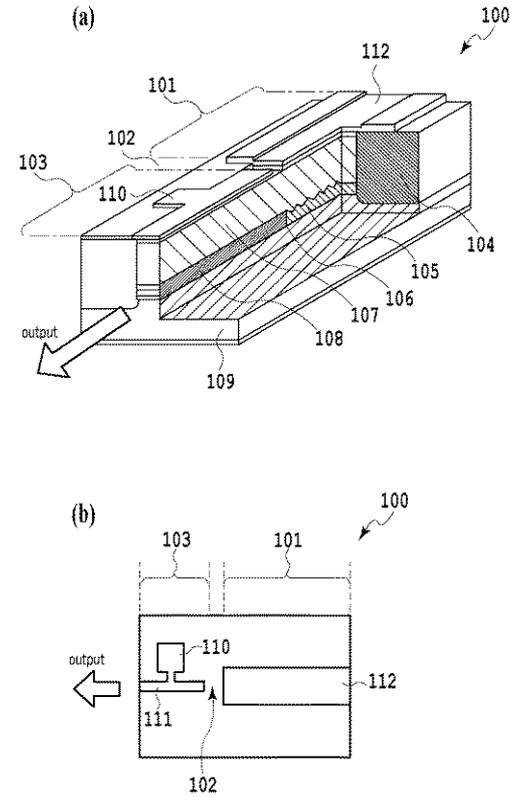
【 図 2 】



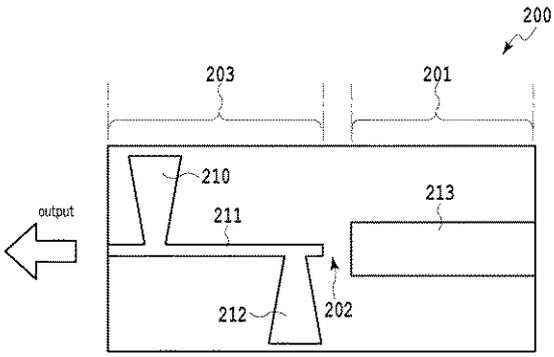
【 図 3 】



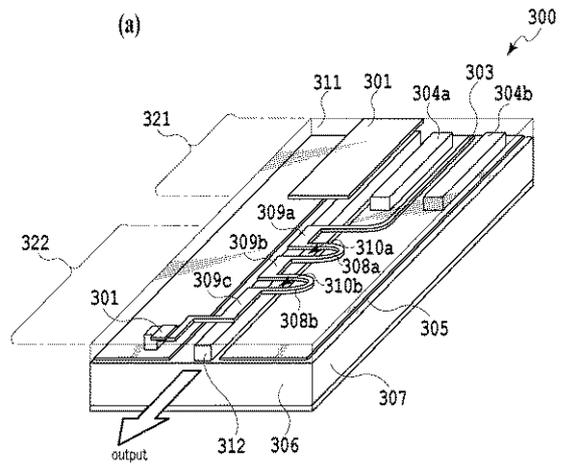
【 図 4 】



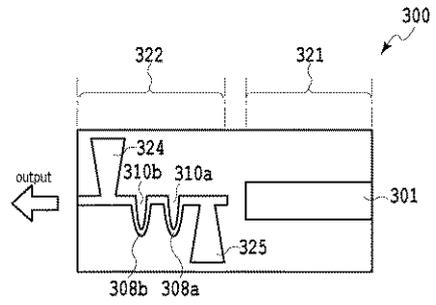
【図5】



【図6】



(b)



---

フロントページの続き

(72)発明者 尾崎 常祐

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K102 AA20 BA02 BB01 BC04 BD01 CA05 CA06 DA05 DA08 DA11

DD03 EA03 EA12 EB20 EB29

5F173 AA26 AB13 AD14 AH14