

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup>	(参考)
G02F 1/35	601	G02F 1/35	601	2K002
H01S 5/50		H01S 3/18	694	5F073

審査請求 有 請求項の数11 O L (全8頁)

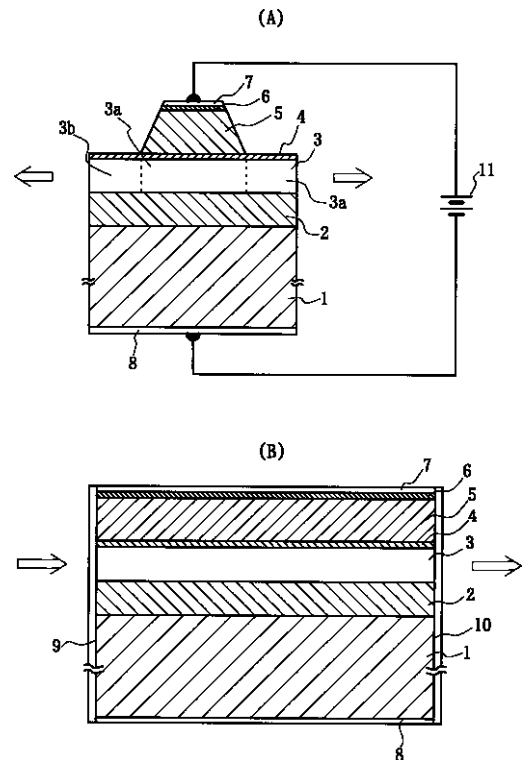
(21)出願番号	特願平11 - 160311	(71)出願人	391012327 東京大学長 東京都文京区本郷7丁目3番1号
(22)出願日	平成11年6月8日(1999.6.8)	(72)発明者	中野 義昭 東京都世田谷区松原5 - 28 - 5
		(72)発明者	馬 炳眞 東京都足立区東綾瀬2 - 16 - 3 - 204
		(74)代理人	100059258 弁理士 杉村 暁秀 (外2名)
		Fターム(参考)	2K002 AB04 AB12 AB30 BA08 CA13 DA06 HA26 5F073 AA13 AA83 AB22 CA12 EA12

(54)【発明の名称】光デバイス

(57)【要約】

【課題】 大きな消光比が得られると共にデジタル的に動作するのに好適な光デバイスを実現する。

【解決手段】 導波路構造体の両側に第1及び第2の電極(7,8)を形成し、これら電極により導波路構造体にキャリア注入領域(3a)及びこれに隣接する非キャリア注入領域(3b)を形成する。キャリア注入領域(3a)に大量のキャリアが蓄積されると、この領域の屈折率は隣接する非キャリア注入領域の屈折率よりも相対的に低下する。この状態において、エネルギーレベルの低い光波が入射してもこの光波により消費されるキャリア量は少ないため、この領域の屈折率は依然として非キャリア注入領域の屈折率よりも低い状態に維持され、入射した信号光は外部に放射する。一方、エネルギーレベルの高い光波が伝搬すると、この光波により消費されるキャリア量が増大し、この領域(3a)の屈折率は非キャリア注入領域(3b)の屈折率よりも相対的に高くなり、入射面から出射面に至る光誘導導波路が形成される。この結果、ガイディング効果と光増幅効果の相乗効果により光増幅された信号光を出射させることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 層形成すべき面を有する半導体基板と、この半導体基板の層形成面上に形成した複数の半導体層を具え、これら半導体層と直交するように延在し信号光が入射する入射面及びこの入射面と対向する出射面を有する導波路構造体と、前記半導体基板の層形成面とは反対側の面に形成した第 1 の電極と、前記導波路構造体の上側に形成され前記第 1 の電極と対向する第 2 の電極と、これら第 1 の電極と第 2 の電極との間に接続され、前記導波路構造体にキャリアを注入するための直流バイアス源とを具え、入射した信号光を前記導波路構造体に注入されたキャリアにより光増幅して出射面から出射させる光デバイスにおいて、前記導波路構造体を、前記第 1 及び第 2 の電極から注入され内部に蓄積されたキャリアの量に応じて屈折率が変化する半導体材料で構成し、前記第 1 及び第 2 の電極は、これらの電極を介して導波路構造体にキャリアが注入されるキャリア注入領域とキャリアが注入されない非キャリア注入領域とが隣接して形成されるように形成され、前記直流バイアス源から第 1 及び第 2 の電極を介して導波路構造体にキャリアが注入されている動作状態において、前記キャリア注入領域の屈折率が前記非キャリア注入領域の屈折率よりも低くなるように構成し、前記導波路構造体にキャリアが注入されている動作状態において、第 1 のパワーレベルの信号光が前記キャリア注入領域を伝搬する際、誘導放射によるキャリアの減衰効果により、このキャリア注入領域の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率よりも高くなり、キャリア注入領域が入射した光波を前記入射面から出射面までガイドする光導波路を構成し、前記第 1 のパワーレベルよりも低い第 2 のパワーレベルの信号光がキャリア注入領域を伝搬する際、キャリア注入領域の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率よりも低く維持され、入射した信号光が前記非キャリア注入領域を介して外部に放射しアンチガイドモードで動作するように構成したことを特徴とする光デバイス。

【請求項 2】 光波の伝搬方向に見て、前記非キャリア注入領域がキャリア注入領域の両側にそれぞれ形成され、前記第 2 のパワーレベルの信号光がこれら非キャリア注入領域を介して光デバイスの側方に放射されることを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 3】 前記導波路構造体をリッジ型導波路構造体としたことを特徴とする請求項 2 に記載の光デバイス。

【請求項 4】 前記半導体基板を第 1 導電型の半導体基板とし、前記導波路構造体が、半導体基板の上側に形成した第 1 導電型の第 1 のクラッド層と、第 1 のクラッド層の上側に形成され、注入されたキャリアを蓄積する活性層と、この導波路層の上側に形成した第 2 導電型の第

2 のクラッド層とを具えることを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 5】 前記活性層を構成する半導体材料を、前記第 1 及び第 2 のクラッド層を構成する半導体材料の屈折率よりも大きな屈折率を有する半導体材料で構成したことを特徴とする請求項 2 に記載の光デバイス。

【請求項 6】 前記活性層を InGaAsP で構成し、前記第 1 及び第 2 のクラッド層を InP で構成したことを特徴とする請求項 5 に記載の光デバイス。

10 【請求項 7】 前記入射面及び出射面に無反射コーティングが形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 8】 前記入射面に、波長変換されるべき第 1 の波長  $\lambda_1$  の信号光とこの信号光との波長とは異なる第 2 の波長  $\lambda_2$  の時間的に一定振幅の光波とを供給し、前記波長  $\lambda_1$  の信号光に応じて変調された第 2 の波長  $\lambda_2$  の光波を出力する波長変換器として動作することを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

20 【請求項 9】 前記入射面に、光増幅すべき信号光とこの信号光と同一波長の時間的に一定振幅の光波とを供給し、前記信号光のパワーレベルに応じて波形整形された光波を出力する波形整形器として動作することを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 10】 前記入射面に、光増幅すべき信号だけを供給し、この信号光のパワーレベルに応じて波形整形され、情報対ノイズ比の大きい信号光を出射させる波形整形器として動作することを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

30 【請求項 11】 前記振幅が時間的に一定の光波の振幅が、信号光の振幅よりも大きいことを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の光デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分割多重光通信方式のリソースとして好適な光デバイスに関するものである。

【0002】

40 【従来技術】デジタル通信方式の開発に伴い、波長分割多重通信方式の開発が強く要請されている。波長分割多重方式においては、チャンネルを切り換えるために光波長変換器が必要である。従来光波長変換器として、相互利得変調を利用した XGM 型波長変換器と相互位相変調を利用した XPM 型波長変換器が既知である。

【0003】XGM 型波長変換器では、波長  $\lambda_1$  の変調された入力信号光と波長  $\lambda_2$  の時間に対して一定振幅の光波とを半導体光増幅器に供給し、半導体光増幅器の入力光パワーに対するゲインの差を利用して波長  $\lambda_2$  の光波の反転出力信号を発生させている。

50 【0004】XPM 型波長変換器はマッハツェンダ干渉計等の原理を利用するものであり、入力側の導波路を 2

本の導波路に分岐し、一方の導波路中に半導体光増幅器を配置し、変調されるべき $\lambda_2$ の波長光に対して2本の導波路を同位相に設定している。そして、波長 $\lambda_1$ の入力信号光と変調されるべき波長 $\lambda_2$ の一定振幅の光波とが伝搬する際、入力信号光の作用により2本の導波路間に $\pi/2$ の位相差が生ずるように設定し、この位相差を利用して波長 $\lambda_2$ の光波の反転出力信号を発生させている。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】XGM型波長変換器では、光増幅器の飽和利得をそのまま利用するため、消光比が小さい欠点がある。また、符号反転した出力信号しか出射させることができない本質的な欠点もある。

【0006】XPM型波長変換器では、十分な消光比が得られるが、応答が周期的であるため、デバイス長について厳格な製造公差が要求され、製造上の歩留りが著しく低下してしまう。

【0007】従って、本発明の目的は、上述した欠点を解消し、比較的簡単な構造で大きな消光比が得られ光デバイスを実現することにある。

【0008】さらに、本発明の別の目的は、符号反転しない出力信号を出射させることができ、デジタル的な動作に好適な光デバイスを提供することにある。

【0009】さらに、本発明の別の目的は、比較的簡単な製造工程で製造でき、波長変換器や波形整形器として機能することができる。光デバイスを提供することにある。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明による光デバイスは、層形成すべき面を有する半導体基板と、この半導体基板の層形成面上に形成した複数の半導体層を具え、これら半導体層と直交するように延在し信号光が入射する入射面及びこの入射面と対向する出射面を有する導波路構造体と、前記半導体基板の層形成面とは反対側の面に形成した第1の電極と、前記導波路構造体の上側に形成され前記第1の電極と対向する第2の電極と、これら第1の電極と第2の電極との間に接続され、前記導波路構造体にキャリアを注入するための直流バイアス源とを具え、入射した信号光を前記導波路構造体に注入されたキャリアにより光増幅して出射面から出射させる光デバイスにおいて、前記導波路構造体を、前記第1及び第2の電極から注入され内部に蓄積されたキャリアの量に応じて屈折率が変化する半導体材料で構成し、前記第1及び第2の電極は、これらの電極を介して導波路構造体にキャリアが注入されるキャリア注入領域とキャリアが注入されない非キャリア注入領域とが隣接して形成されるように形成され、前記直流バイアス源から第1及び第2の電極を介して導波路構造体にキャリアが注入されている動作状態において、前記キャリア注入領域の屈折率が前記非キャリア注入領域の屈折率よりも低くなるように構

成し、前記導波路構造体にキャリアが注入されている動作状態において、第1のパワーレベルの信号光が前記キャリア注入領域を伝搬する際、誘導放射によるキャリアの減衰効果により、このキャリア注入領域の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率よりも高くなり、キャリア注入領域が入射した光波を前記入射面から出射面までガイドングする光導波路を構成し、前記第1のパワーレベルよりも低い第2のパワーレベルの信号光がキャリア注入領域を伝搬する際、キャリア注入領域の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率よりも低く維持され、入射した信号光が前記非キャリア注入領域を介して外部に放射しアンチガイドングモードで動作するように構成したことを特徴とする。

【0011】本発明は、半導体材料の屈折率は電流注入されるキャリアの密度に反比例するというフリーキャリアプラズマ効果及び光増幅効果を積極的に利用する。導波路構造体にキャリアが注入されるキャリア注入領域とキャリアが注入されない非キャリア注入領域とが隣接して形成されるように電極を設ける。電極を介してキャリア注入領域に大量のキャリアが注入されると、この領域に大量のキャリアが蓄積され、当該領域の屈折率は隣接する非キャリア注入領域の屈折率よりも相対的に低くなる。一方、光波が伝搬することにより伝搬路のキャリアは消費されるので、当該領域に存在するキャリア密度が低下する。このキャリア密度の低下により当該領域の屈折率は非キャリア注入領域の屈折率よりも相対的に高くなる。しかも、蓄積しているキャリアが消費される量は伝搬する光波のパワーレベルにほぼ対応するので、より高いパワーレベルの信号光が伝搬すると、当該領域のキャリア密度は一層低下しこの領域の屈折率は非キャリア注入領域の屈折率よりも大幅に高くなり光閉じ込め効果も一層増強される。この結果、信号光の伝搬路には周囲媒質の屈折率よりも高い導波路が形成されることになる。このような導波路が形成されると、光閉じ込め効果及び導波路内で生ずる誘導放射も一層増強され、正帰還がかかった状態となる。従って、この導波路は、「光誘導導波路」と呼ぶことができる。

【0012】一方、パワーレベルの低い信号光が伝搬する場合、この信号光により消費されるキャリアの量は少ないため、当該領域には依然として大量のキャリアが残存し、その屈折率は低いままに維持される。この結果、当該領域の屈折率は隣接する非キャリア注入領域の屈折率よりも相対的に低いため、パワーレベルの低い信号光は屈折率の高い周囲領域に吸収され、この周囲領域から外部に向けて放射する。

【0013】本発明は上述した認識に基づくものであり、入射する信号光のパワーレベルに応じて導波路構造体内に光誘導導波路を形成し、信号光を出射面までガイドングするガイドングモードと信号光を非キャリア注入領域で放射させるアンチガイドングモードとを入

力光のパワーに応じて切り換える。このモード切換を利用することにより、簡単な製造工程で波長変換器や波形整形器を実現することができる。

【0014】本発明によれば、フリーキャリアプラズマ効果と光増幅効果を利用することにより非線形な入力/出力特性を得ることができる。すなわち、入力する信号光のパワーレベルが低い場合ほとんどの入射光が非キャリア注入領域に吸収されてしまうため、蓄積されたキャリアの消費量は極めて少量である。そして、入射した信号光のパワーレベルが増大しても、消費されるキャリア量が增大して光波の伝搬路の屈折率が隣接する非キャリア注入領域の屈折率に等しくなるまでこの状態が持続され、出射面まで伝搬する信号光は極めて僅かなものである。一方、消費されるキャリア量が增大して光波の伝搬路の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率に等しくなると、ガイディング効果が急激に作用し、入射した信号光が出射面まで伝搬するようになり、この信号光の伝搬により光増幅効果も急激に増強され、光増幅された信号光が出射することになる。この結果、通常の半導体光増幅器では得ることのできない閾値特性を有する非線形な入力/出力特性を得ることができる。この非線形な入力/出力特性により、デジタル的な動作を行うことができる。

【0015】さらに重要なことは、本発明の光デバイスは、入射した信号光が「ハイ」のレベルの場合「ハイ」の信号光を出力し「ロー」レベルの場合「ロー」レベルの信号光を出力するため、符号反転されていない信号光を出力できる利点が達成される。

【0016】本発明の非線形な入力/出力特性を利用することにより、種々の機能の光デバイスを実現することができる。例えば、波長 $\lambda_1$ の信号光と波長 $\lambda_2$ の連続波を入射させることにより、波長 $\lambda_1$ の信号光により変調され光増幅された波長 $\lambda_2$ の信号光を出力することができ、簡単な構造で光増幅機能を有する波長変換器を実現することができる。

【0017】また、波長 $\lambda_1$ の信号光と同一波長の連続波を入射させることにより、入力する信号光の振幅が微弱であっても、微弱な入力信号にパワーの大きな連続波を重畳することにより微弱な信号光成分を光増幅することができ、波形整形され情報対ノイズ比の大きな信号光を出力することができる。これに対して、通常の半導体光増幅器の場合、入力信号のハイの成分及びローの成分の両方が等しく光増幅されるため、ノイズ成分も同様に増幅され情報対ノイズ比の大きな光信号を出力することができない。このように、本発明の光デバイスは、通常の半導体光増幅器では達成できない異なる特有の作用効果を有するものである。

【0018】

【発明の実施の形態】図1及び図2は本発明による光デバイスの一例の構成を示し、図1は全体構成を示す斜視

図であり、図2Aは光波の伝搬方向と直交する断面で切った線図的断面図であり、図2Bは光波の伝搬方向に沿った面で切った線図的断面図である。図1に示すように、光波の伝搬方向をz方向とし、半導体層が堆積されキャリアが注入される方向をy方向とし、光波の伝搬方向及びキャリアの注入方向と直交する方向をx方向とする。

【0019】半導体基板1として第1導電型のn-InP基板を用意し、この基板1上に導波路構造体を形成する。基板1は100 $\mu\text{m}$ の厚さを有し、その不純物濃度は $2 \times 10^{19}$ 原子/ $\text{cm}^3$ とする。尚、n形の不純物としてサルファを用いることができる。基板1上に、厚さが0.4 $\mu\text{m}$ で不純物濃度が $5 \times 10^{17}$ 原子/ $\text{cm}^3$ のn-InPの第1のクラッド層2を形成する。この第1のクラッド層2上に、厚さが0.2 $\mu\text{m}$ のi-InGaAsP(1.55 $\mu\text{m}$ )の活性層3を形成する。活性層3上に、厚さが0.02 $\mu\text{m}$ のInGaAsP(1.25 $\mu\text{m}$ )のエッチングストップ層4を形成する。このエッチングストップ層4上に第2導電型の第2のクラッド層5を形成する。この第2のクラッド層5は、厚さが0.4 $\mu\text{m}$ で不純物濃度が $5 \times 10^{17}$ 原子/ $\text{cm}^3$ とする。尚、p形不純物としてZnを用いることができる。この第2のクラッド層5に、厚さが0.1 $\mu\text{m}$ で不純物濃度が $2 \times 10^{19}$ のキャップ層6を形成し、このキャップ層上にTi-Auの第2の電極7を形成する。そして、基板1の層構造体が形成されている側とは反対側にTi-Auの第1の電極8を形成する。

【0020】この光デバイスを製造するに際し、第2のクラッド層5を形成した後、半導体光増幅器のリッジ部分を構成する部分を除いてフォトリソグラフィにより第2のクラッド層5を除去してリッジ導波路構造体を形成する。その後、キャップ層及び第1の電極層を形成し、パターンニング処理により各半導体光増幅器のリッジ部上に第2の電極を形成し半導体基板1の反対側に第1の電極8を形成する。最後に、図2Bに示すように、信号光が入射する入射面9及び光増幅された光波が出射する出射面10に無反射コーティングをそれぞれ形成する。入射面9には、光ファイバ(図示せず)を光学的に結合し、この光ファイバを介して信号光を導波路構造体に入射させる。出射面10にも同様に光ファイバ(図示せず)を光学的に結合し、光増幅された光波を出射させる。

【0021】第1の電極8と第2の電極7との間に直流バイアス源11を接続し、このバイアス源11から活性層3に時間的に一定量のキャリアを連続的に注入する。すなわち、電子は、バイアス源11から第1電極8、n形の半導体基板1及びn形の第1のクラッド層2を経て活性層3に注入される。また、ホールは、第2の電極7、キャップ層6、第2のクラッド層5及びエッチングストップ層4を経て活性層3に注入される。注入された

キャリアは活性層 3 内に蓄積される。従って、図 2 A に示すように、活性層 3 には、信号光の伝搬方向に見て、中央にキャリアが注入され蓄積するキャリア注入領域 3 a とその両側にキャリアが注入されない非キャリア注入領域 3 b 及び 3 c が形成されることになる。

【0022】次に、導波路構造体の屈折率について説明する。活性層 3 を構成する真性 InGaAsP の屈折率は約 3.50 であり、第 1 及び第 2 のクラッド層 2 及び 4 を構成する InP の屈折率は約 3.20 である。従って、活性層 3 の屈折率は y 方向に隣接する第 1 及び第 2 のクラッド層 2 及び 4 の屈折率よりも小さいため、導波路構造体を伝搬する光波は y 方向において閉じ込められ、ガイディングされることになる。一方、活性層並びに第 1 及び第 2 のクラッド層が延在する x 方向には媒質が連続した状態とする。

【0023】次に、x 方向における信号光の閉じ込め及び放射について説明する。図 2 B に示すように、入射面 9 から信号光が入射すると、この信号光は第 1 のクラッド層 2、活性層 3 及び第 2 のクラッド層 4 から構成される導波路構造体を z 方向に沿って伝搬し、活性層 3 に蓄積されたキャリアにより光増幅作用を受け、出射面 10 から出射する。信号光が光増幅される際、信号光のパワーレベルすなわちパワーレベルが低い場合信号光の光増幅により消費されるキャリアの量は少ないため、活性層 3 には大量のキャリアが残存し、従って信号光から見た導波路構造体の屈折率は相対的に低い状態に維持されることになる。一方、入射した信号光のパワーレベルが高い場合、信号光の光増幅により消費されるキャリアの量は多いため、活性層 3 内に存在するキャリアの量は大幅に減少し、活性層の屈折率が急激に増大し、この結果伝搬する光波に対する屈折率は相対的に増大する。この状態を図 3 A 及び B に基づいて説明する。図 3 は信号光の伝搬方向である z 方向と直交する面における x 方向の位置と屈折率の関係を模式的に示すグラフであり、図 3 A は一定量のキャリアが時間的に連続して注入されパワーレベルの低い信号光が入射した状態の x 方向位置と屈折率との関係を示し、図 3 B はパワーレベルの高い信号光が入射した場合の x 方向位置と屈折率との関係を示す。活性層 3 の材料である真性 InGaAsP のキャリア強制的な注入及び強制的な放出のない状態における屈折率すなわち非キャリア注入領域 3 b 及び 3 c の屈折率は 3.26 である。一方、キャリアが注入されると、キャリア注入領域 3 a の屈折率は例えば 3.258 程度まで低下する。従って、リッジ型導波路により規定されるキャリア注入領域の屈折率は、周囲領域である非キャリア注入領域 3 b 及び 3 c の屈折率よりも低下し、図 3 A に示す屈折率分布が形成される。一方、高パワーレベルの信号光が入射すると、高パワーの信号光の光増幅に伴い、大量のキャリアが消費され、活性層 3 のキャリア注入領域 3 a に存在するキャリアの量が大幅に低下する。

一方、非キャリア注入領域 3 b 及び 3 c のキャリア量はほぼ一定に維持される。この結果、キャリア注入領域 3 a の屈折率は 3.262 程度まで増大し、図 3 B に示すように、周囲領域である非キャリア注入領域の屈折率よりも高くなる。

【0024】このように、パワーレベルの低い信号が入射すると、信号光の伝搬路の屈折率は側方の周囲領域 3 b 及び 3 c の屈折率よりも低いため、その屈折率差により信号光は伝搬中に屈折率の高い側方の非キャリア注入領域に吸収され、周囲領域から外部に放射することになり、この結果出射面からほとんど出射せずアンチガイディングモードで動作することになる。これに対して、パワーレベルの高い信号光が入射すると、その伝搬路の屈折率は側方の非キャリア注入領域 3 b 及び 3 c の屈折率よりも高くなり、この屈折率差に起因する光閉じ込め効果により入射面 9 から出射面 10 に至る導波路が形成されることになる。この結果、x 及び y 方向に光閉じ込めが生じ、光増幅された信号光は x 方向及び y 方向に閉じ込められた状態で z 方向に伝搬し出射面 10 から外部に出射する。

【0025】図 4 A 及び B は上述した光デバイスに入力する信号光の入力パワーと出力パワーとの関係及び入力パワーに対する利得 ( $P_{out} / P_{in}$ ) の関係を示す模式図である。図 4 A において、横軸は入力パワーを示し、縦軸は出力パワーを示す。本発明による光デバイスは光増幅機能とインデックスガイディング機能の両方をもつ光デバイスである。入力パワーが低い場合、インデックスガイディング効果が作用せず、入射した信号光の大部分は側方から放射し出射面からは出射せずアンチガイディングモードとなる。そして、キャリア注入領域の屈折率が周囲領域の屈折率よりも相対的に低い状態の場合、入力パワーが増大しても出力パワーはほとんど変化しない。一方、入力パワーが増大し、キャリア注入領域の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率を超えると、インデックスガイディング効果が作用し、入射した信号光がキャリア注入領域を伝搬し始める。この信号光の伝搬により光増幅効果が急激に増強され、入力パワーに対して出力パワーは急激に増大する。すなわち、インデックスガイディング効果と光増幅作用との相乗効果により、図 4 A に示す閾値特性を有する非線形な入力 / 出力関係を得ることができる。尚、参考として一般的な半導体光増幅器の入力パワーと出力パワーとの関係を破線で示す。通常の半導体光増幅器は製造時からキャリア注入領域の屈折率は x 及び y 方向について周囲領域の屈折率よりも高く設定されているため、出力パワーは入力パワーに対してほぼ線形に増加する。

【0026】図 4 B において、横軸は信号光の入力パワーを示し縦軸は利得 ( $P_{out} / P_{in}$ ) を示す。実線は本発明による光デバイスの特性を示し破線は半導体光増幅器の一般的な特性を示す。本発明の光デバイスでは、入

力パワーが低い領域では光増幅はほとんど行われぬ。一方、入力パワーの増大に伴いキャリア注入領域の屈折率が非キャリア注入領域の屈折率に近づくるとガイドイング効果と光増幅効果が相乗され、光増幅効果が急激に増大する。そして、キャリア注入限界を超えると利得は徐々に低下する。これに対して、通常の半導体増幅器の場合、利得は入力パワーにかかわらず一定に設定されているため、入力パワーが増大しても利得は一定に維持され、キャリア注入限界を超えると低下する。図 4 B の利得特性からも明らかなように、本発明の光デバイスは通常の半導体増幅器とは異なる特有の利得特性を有している。このように、本発明による光デバイスは従来の半導体増幅器では達成できない閾値特性を有しており、この特有の閾値特性を利用することにより種々の光デバイスを実現することができる。

【0027】次に、本発明による光デバイスを波長変換器に適用した例について説明する。図 5 に示すように、波長  $\lambda_1$  の入力信号光と波長  $\lambda_2$  の振幅が時間的に対して一定の光波とを重畳して本発明による光デバイスに供給する。波長  $\lambda_2$  の一定振幅の光波のパワーは、図 4 の閾値よりも若干低い値に設定する。波長  $\lambda_1$  の信号光がハイレベルのとき、光デバイスにはハイレベルの信号光が入射するため、 $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  の両方の波長光が光増幅されて出力される。これに対して、波長  $\lambda_1$  の信号光がローレベルの場合、アンチガイドイングモードとなり、両方の波長光が光増幅されず、 $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  の両方の波長光はローレベルの信号として出力される。この結果、入力信号光により変調され光増幅された波長  $\lambda_2$  の信号光を出力することができる。

【0028】図 6 は、本発明を波形整形器として動作させる例を示すものである。本発明による光デバイスに波長  $\lambda_1$  の信号光と同一波長の振幅が一定の光波を重畳して供給する。振幅が一定の光波のパワーレベルは図 4 の閾値よりも若干低い値に設定する。信号光がハイレベルの場合、ガイドイングモードとして動作し、光増幅されたハイレベルの信号光が出力される。一方、信号光がローレベルの場合、入力した光波のパワーレベルが閾値以下であるため、ローレベルの信号が出力されることになる。この結果、本発明の光デバイスは波形整形器として動作することができる。この波形整形器は微弱入力信号を光増幅して情報対ノイズ比の大きな出力信号を発生するのに好適である。すなわち、光デバイスに微弱な光信号だけを供給しても光増幅されないが、振幅の微弱な入力信号に振幅が比較的大きな連続波を重畳して供給すれば、入力信号のパワーが閾値付近までアップさせることができるので、閾値特性を利用することにより振幅が大幅に増幅され情報対ノイズ比の大きな光信号を出力することができる。尚、図 6 に示す実施例において、信号光

だけを供給して波形整形器として機能させることも可能である。この場合にも、パワーの低いノイズ成分及び歪みが除去されるので、情報対ノイズ比の大きな光信号として再生することができる。

【0029】本発明は上述した実施例だけに限定されず種々の変更や変形が可能である。例えば、導波路構造体を構成する材料系は InGaAs / InP 系以外に、GaAlAs / GaAs 系、InGaAlAs / InP 系、及び InGaAs / GaAs 系の化合物半導体材料を用いることができる。

【0030】また、活性層として量子井戸構造を用いることもできる。例えば、第 1 のクラッド層の上側に、厚さ 200 nm の InGaAsP (1.55  $\mu\text{m}$ ) の第 1 の光閉じ込め層を形成し、さらにこの光閉じ込め層の上側に、厚さ 10 nm の InGaAsP (1.75  $\mu\text{m}$ ) の量子井戸層と厚さ 10 nm の InGaAsP (1.25  $\mu\text{m}$ ) のバリア層とが交互に 5 セット形成された量子井戸構造体を形成する。さらに、量子井戸構造体の上側に厚さ 200 nm の InGaAsP (1.25  $\mu\text{m}$ ) の第 2 の光閉じ込め層を形成する。このような量子井戸構造を活性層に用いることも可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明による光デバイスの一例の構成を示す線図的斜視図である。

【図 2】 図 1 の光デバイスの光波の進行方向と直交する面で切った断面図及び光波の進行方向に平行な面で切った断面図である。

【図 3】 x 方向位置と屈折率の関係を示すグラフである。

【図 4】 入力パワーと出力パワー及び利得との関係を示すグラフである。

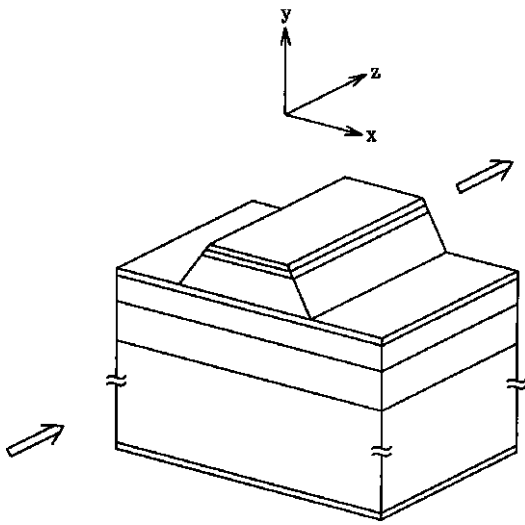
【図 5】 本発明による光デバイスを波長変換器に応用した例を示す線図である。

【図 6】 本発明による光デバイスを波形整形器に応用した例を示す線図である。

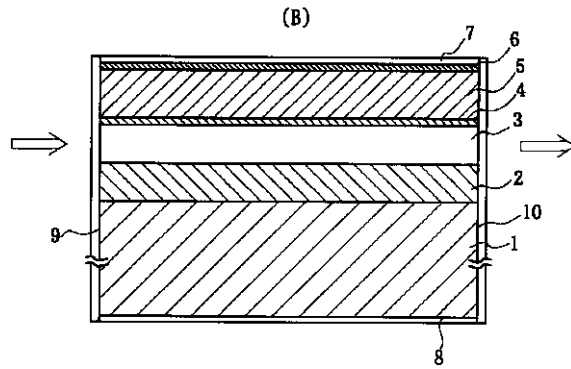
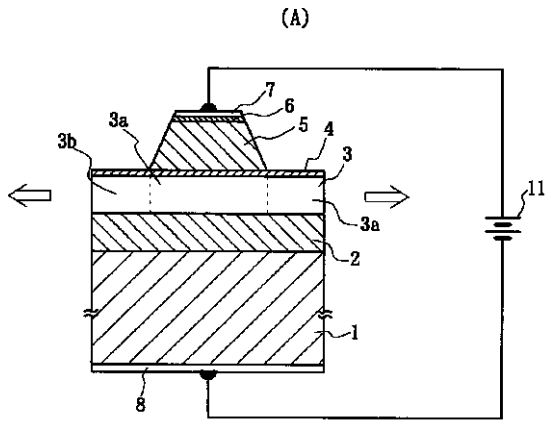
#### 【符号の説明】

- 1 半導体基板
- 2 第 1 のクラッド層
- 3 活性層
- 4 エッチングストップ層
- 5 第 2 のクラッド層
- 6 キャップ層
- 7 第 2 の電極
- 8 第 1 の電極
- 9 入射面
- 10 出射面
- 11 バイアス源

【図1】

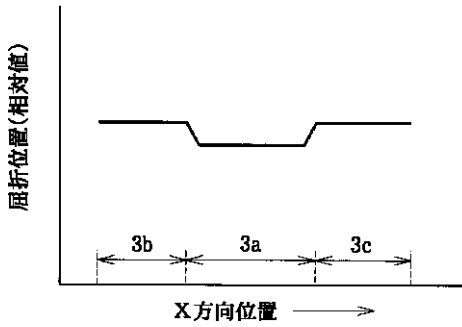


【図2】

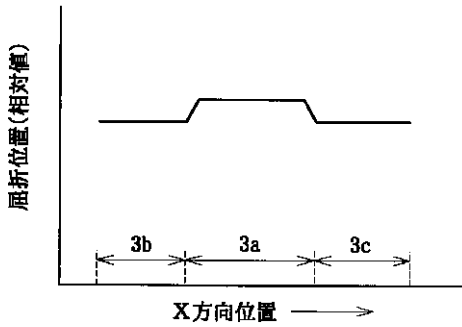


【図3】

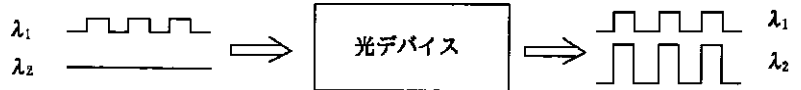
(A)



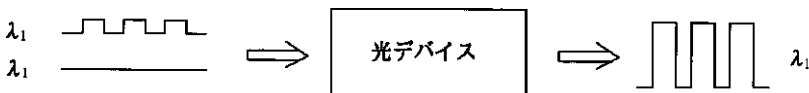
(B)



【図5】

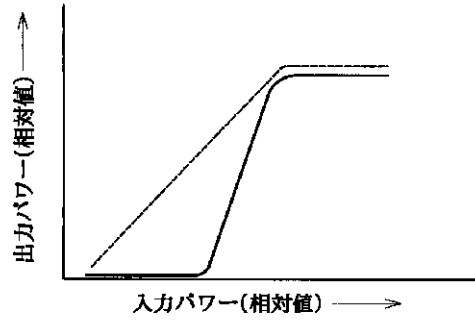


【図6】



【図4】

(A)



(B)

