

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4678143号
(P4678143)

(45) 発行日 平成23年4月27日 (2011. 4. 27)

(24) 登録日 平成23年2月10日 (2011. 2. 10)

(51) Int. Cl.

G 0 2 F 1/313 (2006.01)

F 1

G 0 2 F 1/313

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2004-167325 (P2004-167325)	(73) 特許権者	000006507
(22) 出願日	平成16年6月4日 (2004. 6. 4)		横河電機株式会社
(65) 公開番号	特開2005-345898 (P2005-345898A)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号
(43) 公開日	平成17年12月15日 (2005. 12. 15)	(72) 発明者	和田 守夫
審査請求日	平成18年4月7日 (2006. 4. 7)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		(72) 発明者	荒木 昌二郎
			東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		(72) 発明者	土橋 万知夫
			東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		(72) 発明者	飯尾 晋司
			東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光スイッチ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一方から入射された光信号を途中で2つに分岐して出射する光導波路が形成され、前記分岐する部分でキャリア注入によるキャリア濃度変化により屈折率変化を生じさせて光信号の伝送経路を切り換える光スイッチにおいて、

前記光信号が伝搬されるコア層またはこのコア層を含む光導波路層内に量子ドットまたは量子ワイヤを挿入し、

前記入射された光信号は、キャリア注入されていないと前記2つに分岐された光導波路のうち第一の光導波路に出射され、キャリア注入されると第二の光導波路に出射され、

前記量子ドットまたは前記量子ワイヤの大きさは、前記量子ドットまたは前記量子ワイヤでキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光の波長が、前記光信号の波長と異なるものになるような大きさであって、

前記量子ドットまたは前記量子ワイヤでキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光を除去する波長選択フィルタを設けたことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2】

光導波路層は、前記光導波路を伝搬する伝搬光が閉じ込められる領域であることを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項 3】

前記光導波路がスラブ型の光導波路であることを特徴とする請求項1または2記載の光スイッチ。

【請求項 4】

前記光導波路は、2本の直線の光導波路が交差したことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光スイッチ。

【請求項 5】

前記光導波路は、1本の直線の光導波路の途中から異なる角度で分岐する光導波路を有することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一方から入射された光信号を途中で2つに分岐して出射する光導波路が形成され、分岐する部分でキャリア注入による屈折率変化により光信号の伝送経路を切り換える光スイッチに関し、詳しくは、光応答速度を高速化できる光導波路型の半導体光スイッチに関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

現在の通信ネットワークであるLAN (Local Area Network) やWAN (Wide Area Network) 等では、通常電気信号をもって情報を伝送する通信方式となっている。

【0003】

光信号をもって情報を伝送する通信方法は大量のデータを伝送する基幹ネットワークやその他一部のネットワークで用いられているだけである。また、これらのネットワークは "point to point" の通信であり、"フォトニックネットワーク" と言える通信網までは発達していないのが現状である。

20

【0004】

このような"フォトニックネットワーク"を実現するためには、電気信号の送信先を切り換えるルータやスイッチングハブ等といった装置と同様の機能を有する"光ルータ"や"光スイッチングハブ"等が必要になる。さらに、これらの装置の測定を行う光通信用測定機器等も必要になる。

【0005】

そして、このような装置(光通信システムや光通信用測定機器)では高速に伝送経路を切り換える光スイッチが必要となる。ここで、半導体に光導波路を形成し、さらに電流注入領域を設け、半導体中に電流(キャリア)を注入して屈折率を変化させ光信号の伝送経路を切り換える従来の光スイッチの説明をする。

30

【0006】

図3および図4は従来の光スイッチの一例を示す平面図および断面図である(例えば、非特許文献1参照)。図3において基板1は、"X字状"の光導波路2が形成される。電極3は、"X字状"の光導波路2の交差部分に形成される。電極4は、"X字状"の光導波路2の交差部分の近傍であって電極3に並行して形成される。

【0007】

一方、図4は図3中"A-A'"における断面図である。図4において、基板5はp型のSi等である。コア層6はp型のSiGe層であり、基板5上に形成される。そして、入射光の大部分は、このコア層6で導波され伝搬される。また、コア層6には"X字状"の光導波路2が形成される。コンタクト用の n^+ 領域7は、光導波路2の交差部分に形成される。コンタクト用の p^+ 領域8は、交差部分の近傍に形成される。

40

【0008】

絶縁膜11は SiO_2 等であり、 n^+ 領域7、 p^+ 領域8の上を除くコア層6の上に形成される。 n 側電極9は、 n^+ 領域7の上に形成される。 p 側電極10は、 p^+ 領域8の上に形成される。

【0009】

続いて、図3、図4に示す従来例の動作を説明する。

光スイッチが"OFF"の場合、電極3(電極9)および電極4(電極10)には電流

50

が供給されない。このため、図3に示す”X字状”の光導波路2の交差部分の屈折率の変化は生じないため、例えば、図3中”P I 0 1”に示す入射端から入射した光信号は交差部分を直進して図3中”P O 0 1”に示す出射端から出射される。

【0010】

一方、光スイッチが”ON”の場合、p側電極10から n^+ 領域7を通してn側電極9に電流が流れる。つまり、電極3（電極9）から電子が注入され、電極4（電極10）からは正孔が注入される。このため、交差部分にはキャリア（電子、正孔）が注入される。そして、 n^+ 領域7側に近い光導波路のキャリア濃度が増加する。

【0011】

このキャリア濃度の増加により図3に示す”X字状”の光導波路2の交差部分の屈折率が低くなるように変化する。例えば、図3中”P I 0 1”に示す入射端から入射した光信号は交差部分に生じた低屈折率の領域（光導波路2内の n^+ 領域7側に近い領域）と屈折率変化がほとんどない領域（光導波路2内の残り半分の領域）との境で全反射されて図3中”P O 0 2”に示す出射端から出射される。

10

【0012】

この結果、電極に電流を供給して”X字状”の光導波路2の交差部分にキャリア（電子、正孔）を注入して交差部分の屈折率を制御することにより、光信号の出射される位置を制御、言い換えれば、光信号が伝搬される伝送経路を切り換えることが可能になる。

【0013】

従って、光導波路2内で、電流注入によってキャリア濃度が増加して屈折率変化が生じる領域と生じない領域との境を明確にして、光反射が生じるようにする方が効率よく光反射領域を生成できる。

20

【0014】

また、半導体材料のバンド間遷移の光吸収端波長のシフトに起因する（バンドフィリング効果）（例えば、非特許文献2参照）屈折率変化に基づいた原理、あるいはキャリア濃度による屈折率変化はプラズマ分散効果に基づいて生じることから（例えば、非特許文献3参照）、同じキャリア濃度の時には、キャリア（自由電子と自由正孔）の有効質量が小さい方が屈折率変化が大きくなる。このため、有効質量が小さい材料系を用いることにより、より低い電流注入量（電流密度）で大きい屈折率変化が生じ、低電流駆動の光スイッチを実現できる。

30

【0015】

次に、キャリア（自由電子と自由正孔）の有効質量が小さい材料系を用いた従来の光スイッチの断面図の一例を図5に示す（例えば、非特許文献4参照）。

【0016】

図5において、基板12はInP等である。コア層13は、例えば4元層のn型のInGaAsP層であり、基板12の上に形成される。n型のInP層14は、コア層13の上に形成される。n型のInGaAsP層15は、n型のInP層14の上に形成される。絶縁膜16はSiO₂等であり、InGaAsP層15の上に形成される。p側電極17は、絶縁膜16の上に形成され、n側電極18は、基板12の裏面に形成される。

【0017】

図5に示す光スイッチは、基板12上にコア層13、InP層14およびInGaAsP層15が順次形成され、コア層13までエッチングすることによって”X字状”の光導波路が形成される。

40

【0018】

そして、図5中”DR11”に示す部分にはp型不純物が拡散される。そして、図5中”DR11”に示す部分に接触するように電極17が形成され、基板12の裏面には電極18が形成される。

【0019】

図5に示す従来例においては、キャリア（自由電子と自由正孔）の有効質量が小さい材料系を用いることにより、より低い電流注入量（電流密度）で大きな屈折率変化が得られ

50

、低電流駆動の光スイッチを実現することができる。

【0020】

続いて、電流狭窄によって、屈折率変化領域を限定する構成の光スイッチを説明する。図6および図7は、交差部分の光導波路内にp型領域を設けて電流搾取を行い、高いキャリア濃度の領域を制限して屈折率変化領域を限定する従来の光スイッチの一例を示す平面図および断面図である（例えば、非特許文献5参照）。

【0021】

図6において半導体の基板19は、“X字状”の光導波路20が形成される。電極21は、“X字状”の光導波路20の交差部分に形成される。

【0022】

一方、図7は図6中“B-B'”における断面図である。図7において、基板22は、例えば、InP等である。下部クラッド層23は、例えば、n型のInP層であり、基板22の上に形成される。コア層24は、n型のInGaAsP層であり、下部クラッド層23の上に形成される。上部クラッド層25は、n型のInP層であり、コア層24の上に形成される。コンタクト層26は、n型のInGaAsP層であり、上部クラッド層25の上に形成される。

【0023】

図7中“DR31”～“DR33”に示す部分にはp型不純物であるZnが拡散される。酸化膜27は、SiO₂等であり、図7中“DR33”に示す拡散領域以外のコンタクト層26の上に形成される。p側電極28は、図7中“DR33”に示す拡散領域上に形成される。n側電極29は、基板22の裏面に形成される。

【0024】

ここで、図6および図7に示す従来例の動作を説明する。光スイッチが“OFF”の場合、電極21（電極28）および図示しない基板19裏面の電極（図7中の電極29に相当する。）には電流が供給されない。

【0025】

このため、“X字状”の光導波路20の交差部分の屈折率の変化は生じないため、例えば、図6中“PI21”から入射した光信号は交差部分を直進して図6中“PO21”に示す部分から出射される。

【0026】

一方、光スイッチが“ON”の場合、電極21（電極28）および図示しない基板19裏面の電極（図7中の電極29に相当する。）に電流が供給され交差部分にキャリア（電子、正孔）が注入される。

【0027】

このため、プラズマ効果によって“X字状”の光導波路20の交差部分の電極21直下の屈折率が低くなるように変化するため、例えば、図6中“PI21”から入射した光信号は交差部分に生じた低屈折率部分との境で全反射されて図6中“PO22”に示す部分から出射される。

【0028】

この結果、電極に電流を供給して“X字状”の光導波路20の交差部分にキャリア（電子、正孔）を注入して交差部分の屈折率を制御することにより、光信号の出射される位置を制御、言い換えれば、光信号が伝搬される伝送経路を切り換えることが可能になる。

【0029】

【非特許文献1】Baujun Li, Guozheng Li, Enke Liu, Zuimin Jiang, Chengwen Pei and Xun Wang, 「1.55 μ m reflection-type optical waveguide switch based on SiGe/Si plasma dispersion effect」, Appl. Phys. Lett., Vol.75, No.1, pp.1-3, (1999)

【非特許文献2】応用物理学会，光学懇話会編者，「光集積回路－基礎と応用－」，初版，朝倉書店，1988年4月10日，第5章，p104

【非特許文献3】Baujun Li, and Soo-Jin Chua, 「2 $\times$ 2 Optical Waveguide Switch with Bow-Tie Electrode Based on Carrier-Injection Total Internal Reflection in SiGe

10

20

30

40

50

Alloy」, IEEE Photon. Tech. Lett. Vol.13, No.3, pp.206-208, 13(2001)

【非特許文献4】Hiroaki Inoue, Hitoshi Nakamura, Kenichi Morosawa, Yoshimitsu Sasaki, Toshio Katsuyama, and Naoki Chinone, 「An 8mm Length Nonblocking 4×4 Optical Switch Array」, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.6, No.7, pp.1262-1266, (1988)

【非特許文献5】K. Ishida, H. Nakamura, H. Matsumura, T. Kadoi, and H. Inoue, 「InGaAsP/InP optical switches using carrier induced refractive index change」, Appl. Phys. Lett., Vol.50, No.19, pp.141-142, (1987)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0030】

上記に示した従来例は、電流（キャリア）注入によりキャリア濃度が増加して屈折率変化が生じる（屈折率が減少する）領域と、屈折率変化が生じない領域との境で光反射が生じて光スイッチングされ、光信号の伝送経路を切り替える。

【0031】

従って、プラズマ分散効果に基づく屈折率変化に基づいた原理（前述の非特許文献3参照）、あるいは、半導体材料のバンド間遷移の光吸収端波長のシフトに起因する（バンドフィリング効果）（前述の非特許文献2参照）屈折率変化に基づいた原理で動作する。

【0032】

しかしながら、キャリア濃度変化により光信号の伝送経路を光スイッチングする光スイッチの光応答速度は、キャリア寿命によって制限される。そのため、光スイッチの電流注入領域、すなわち屈折率変化領域の半導体材料と構造とに依存するキャリア寿命によって光応答速度が決定される。例えば上記に示した従来例では、駆動電流の注入を止めても、キャリアの寿命のため光スイッチの光応答速度が数10～数100[nsec]となり、光応答速度が遅いという問題があった。

20

【0033】

そこで本発明の目的は、光応答速度を高速化できる光導波路型の半導体光スイッチを実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0034】

30

請求項1記載の発明は、

一方から入射された光信号を途中で2つに分岐して出射する光導波路が形成され、前記分岐する部分でキャリア注入によるキャリア濃度変化により屈折率変化を生じさせて光信号の伝送経路を切り換える光スイッチにおいて、

前記光信号が伝搬されるコア層またはこのコア層を含む光導波路層内に量子ドットまたは量子ワイヤを挿入し、

前記入射された光信号は、キャリア注入されていないと前記2つに分岐された光導波路のうち第一の光導波路に出射され、キャリア注入されると第二の光導波路に出射され、

前記量子ドットまたは前記量子ワイヤの大きさは、前記量子ドットまたは前記量子ワイヤでキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光の波長が、前記光信号の波長と異なるものになるような大きさであって、

40

前記量子ドットまたは前記量子ワイヤでキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光を除去する波長選択フィルタを設けたことを特徴とするものである。

【0035】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明において、

光導波路層は、前記光導波路を伝搬する伝搬光が閉じ込められる領域であることを特徴とするものである。

請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の発明において、

前記光導波路がスラブ型の光導波路であることを特徴とするものである。

50

【0037】

請求項4記載の発明は、請求項1～3のいずれかに記載の発明において、前記光導波路は、2本の直線の光導波路が交差したことを特徴とするものである。

請求項5記載の発明は、請求項1～3のいずれかに記載の発明において、前記光導波路は、1本の直線の光導波路の途中から異なる角度で分岐する光導波路を有することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0038】

請求項1～5によれば、光信号の伝送経路の切り替えが行われる部分のコア層またはこのコア層を含む光導波路層内にバンドギャップが狭い量子ドットまたは量子ワイヤを挿入するので、この量子ドットまたは量子ワイヤによる発光キャリア再結合でキャリア寿命を短くすることができる。これにより、光スイッチの光応答速度を高速化できる。

10

【0039】

また、キャリア注入・光導波路型の光スイッチに量子ドットまたは量子ワイヤを挿入するだけなので、単純な光スイッチ構造で、従来の製作プロセスを用いて光応答速度を高速化した光スイッチを容易に製作することができる。従って、実用的価値が非常に高い。

【0040】

また、量子ドットまたは量子ワイヤの大きさによって、量子ドットまたは量子ワイヤでキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光の波長を、光スイッチに入射される光信号の波長と異なるようにするので、量子ドットまたは量子ワイヤが挿入されたことによる光吸収の増加を低減することができる。

20

【0041】

そして、波長選択フィルタが、量子ドットまたは量子ワイヤでキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光を除去するので、発光キャリア再結合で発生した光の影響を容易に遮断することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0042】

以下図面を用いて本発明の実施の形態を説明する。

30

図1は、本発明に係る光スイッチの一実施例を示す平面図である。また、図2は、本発明に係る光スイッチの一実施例を示す断面図である。

図1において半導体の基板30上には、“X字状”の光導波路31が形成される。電極32は、“X字状”の光導波路31の交差部分（光信号を分岐する部分であり、光スイッチ部とも呼ばれる）に形成される。

【0043】

一方、図2は図1中“C-C'”における断面図である。図2において、基板33はInP等である。 n^+ 型のInP層34は、基板33の上に形成される。下部クラッド層35は、 n 型のInP層であり、InP層34の上に形成される。

【0044】

40

コア層36は、量子ドット構造が挿入され、下部クラッド層35の上に形成される。具体的には、例えば、コア層の n 型のInGaAsP層36a内にInAs量子ドット36bが挿入される。そして、例えば、厚さ100～200[nm]程度のエネルギー（バンドギャップ）が大きい n 型のInGaAsP層36aで、自己形成法で製作した2～10[nm]程度の大きさのバンドギャップの小さい量子ドット36bを挟んで、光導波路のコア層36に必要な厚さ、例えば、800[nm]になるように複数繰り返された構造をしている。

【0045】

上部クラッド層37は n 型のInP層であり、コア層36の上に形成される。コンタクト層38は n 型のInGaAsP層であり、上部クラッド層37の上に形成される。図2

50

中 "DR 4 1" ~ "DR 4 3" に示す部分には p 型不純物である Zn が拡散される。

【0046】

酸化膜 3 9 は、SiO₂ 等であり、図 2 中 "DR 4 3" に示す拡散領域以外のコンタクト層 3 8 と上部クラッド層 3 7 の上に形成される。p 側電極 4 0 は、図 2 中 "DR 4 3" に示す拡散領域上に形成される。n 側電極 4 1 は、基板 3 3 の裏面に形成される。

【0047】

このような光スイッチの製造工程を説明する。

基板 3 3 上に InP 層 3 4、下部クラッド層 3 5 を結晶成長させる。そして、平坦な下部クラッド層 3 5 内で、p 側電極 4 0 (厳密には、コンタクト層 3 8 と p 側電極 4 0 が接触している部分) の直下以外の部分、すなわち、図 2 中 "DR 4 1" および "DR 4 2" に示す部分には p 型不純物である Zn が選択拡散されて電流狭窄構造を形成する。

10

【0048】

その後、不純物拡散領域が形成された下部クラッド層 3 5 上にはコア層 3 6 (n 型の InGaAsP 層 3 6 a 内に InAs 量子ドット 3 6 b が挿入されている)、上部クラッド層 3 7、コンタクト層 3 8 が結晶成長により順次形成される。なお、これらの結晶成長は、従来から用いられている結晶成長法 (例えば、有機金属気相エピタキシャル成長法、分子線エピタキシャル成長法等) が適用でき、例えば、自己形成 InAs 量子ドットにより製作することができる。

【0049】

そして、図 2 中 "DR 4 3" に示す部分 (上部クラッド層 3 7、コンタクト層 3 8 の一部) には p 型不純物である Zn が選択拡散される。次に、上部クラッド層 3 7 の途中までエッチング加工を行い、スラブ型光導波路を形成する。

20

【0050】

さらに、図 2 中 "DR 4 3" の上部以外の部分に酸化膜 3 9 を形成し、酸化膜 3 9 が形成されていないコンタクト層 3 8 に接続するように p 側電極 4 0 が形成される。また、基板 3 3 の裏面には n 側電極 4 1 が形成される。

【0051】

このような装置の動作を説明する。

光スイッチが "OFF" の場合、電極 3 2 (図 2 中の p 側電極 4 0 に相当する。) および基板 3 0 裏面の図示しない n 側電極 (図 2 中の n 側電極 4 1 に相当する。) には電流が供給されない。

30

【0052】

このため、"X 字状" の光導波路 3 1 の交差部分の屈折率の変化は生じないため、例えば、図 1 中 "PI 4 1" から入射した光信号は交差部分を直進して図 1 中 "PO 4 1" に示す部分から出射される。

【0053】

一方、光スイッチが "ON" の場合、電極 3 2 および基板 3 0 裏面の図示しない n 側電極に電流が供給され光導波路 3 1 の交差部分にキャリア (電子、正孔) が注入される。

【0054】

具体的には、p 側電極 4 0 から注入された電流は、図 2 中 "DR 4 3" に示す不純物拡散領域、コア層 3 6 を流れ、下部クラッド層 3 5 内、図 2 中 "DR 4 1" および "DR 4 2" に示す不純物拡散領域の間の部分の流れて基板 3 3 側に流れ込む

40

【0055】

すなわち、光導波路 3 1 の交差部分のうち、幅方向の約半分 (一部) の領域の電流密度が高くなり、プラズマ効果によって当該高電流密度部分の屈折率が低くなるように変化する。従って、例えば、図 1 中 "PI 4 1" から入射した光信号は "X 字状" の光導波路 3 1 の交差部分に生じた低屈折率部分との境で全反射されて図 1 中 "PO 4 2" に示す部分から出射される。

【0056】

続いて、電流注入が終了した後の動作 (つまり、駆動電流の注入を止め "ON" から "

50

OFF”への動作)を説明する。一般的に、p側電極40からpn接合を通して電流注入(順方向バイアス電流)されたキャリアは、順方向バイアス電圧を止めるとpn接合による電界がおよぶ範囲ではドリフトしながら、あるいは、この電界に影響されない領域ではキャリアが拡散しながら消滅していく。この消滅過程には、伝導帯の自由電子と価電子帯の自由正孔の直接的な再結合(発光再結合または発光キャリア再結合とも呼ばれる)、熱的なエネルギー変換(フォノンを含む遷移)を伴う再結合(非発光再結合)等の再結合過程が関与している。

【0057】

図2に示す本発明の構造では、バンドギャップの小さい量子ドット36bに自由電子と自由正孔が束縛されて、量子サイズ効果により決定される発光再結合によりキャリアが消滅する。このとき、空間的に狭い(0次元井戸層)領域に閉じ込められた正孔、電子対の発光寿命は、非常に短くなる(例えば、1[n s]未満)(例えば、J. Bellessa, V. Volitis, R. Grousson, X. L. Wang, M. Ogura, and H. Matsuhata, 「Quantum-size effects on radiative lifetimes and relaxation of excitons in semiconductor nanostructures」, PHYSICAL REVIEW B, Vol.58, No.15, pp9933-9940, (15 October 1998)参照、以下非特許文献6と呼ぶ)。

10

【0058】

この結果、順方向バイアス電圧を止めた後の電流注入されたキャリアの寿命が、量子ドット36bの無い場合と比較して非常に短くなる。従って、“ON”から“OFF”での光応答速度の高速化が図れる。

20

【0059】

なお、発光再結合で発生する光の波長は、量子ドット36bの大きさで制御できるので、例えば、光スイッチを光通信に用いる場合は、光通信に用いられる波長1.5[μm]帯よりも十分に短い波長1.4[μm]以下に設定するとよい。

【0060】

また、出射端PO41、PO42か出射端Po41、Po42の後段に、波長選択フィルタを設けてもよい。つまり、光通信に用いられる波長帯の光のみを通過させ、発光再結合で発生する光を通過させないとよい。このように、波長選択フィルタが、必要な波長の光のみを通過し、量子ドット構造でキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光を除去するので、発光再結合で発生した光の影響を容易に遮断することができる。

30

【0061】

以上のように、コア層36に量子ドット構造を挿入するので、駆動電流の注入を止めた後のキャリアの寿命が非常に短くなる。つまり、空間的に狭い領域に閉じ込められた正孔、電子対の発光寿命が非常に短くなる。これにより、キャリアの寿命が非常に短くなり、光スイッチの光応答速度を高速化できる。

【0062】

また、キャリア注入・光導波路型の光スイッチに量子ドット構造を挿入するだけなので、単純な光スイッチ構造で、従来の製作プロセスを用いて光応答速度を高速化した光スイッチを容易に製作することができる。従って、実用的価値が非常に高い。

【0063】

また、量子ドット36bの大きさによって、発光再結合で発生する光の波長を制御できる。例えば量子ドット構造でキャリアが消滅するときの発光再結合によって発生する光の波長を、光通信に用いられる波長と異なる発光波長にすることができる。従って、量子ドットまたは量子ワイヤが挿入されたことによる光吸収の増加を低減することができる。

40

【0064】

なお、本発明はこれに限定されるものではなく、以下のようなものでもよい。

コア層36に量子ドット構造を挿入できるキャリア注入方式の光スイッチには、本発明を適用することができる。例えば、従来例2、3の構成の光スイッチに本発明を適用してもよい。

【0065】

50

また、コア層 3 6 に 0 次元井戸層の量子ドット 3 6 b を挿入する構成を示したが、1 次元井戸層の量子ワイヤを挿入してもよい。すなわち、空間的に狭い領域（1 次元井戸層）に閉じ込められた正孔、電子対の発光寿命が非常に短くなる（例えば、前述の非特許文献 6 参照）。これにより、キャリアの寿命が非常に短くなり、光スイッチの光応答速度を高速化できる。

【0066】

また、量子ドット構造として n 型の InGaAsP 層 3 6 a に InAs 量子ドット 3 6 b を挿入する構成を示したが、他の材質、組成としてもよい。もちろん、基板やクラッド層等も同様である。

【0067】

また、コア層 3 6 内に量子ドットを挿入する構成を示したが、光信号が伝搬される層に量子ドットを挿入してもよい。つまり、光導波路 3 1 を伝搬する伝搬光は、コア層 3 6 だけでなく、このコア層 3 6 よりも屈折率の低いクラッド層にも漏れて伝搬している。従って、光導波路 3 1 として光が伝搬する際、伝搬光が閉じ込められる領域となる光導波路層（コア層と、上部・下部クラッド層のうちコア層から光がしみ出している層）に量子ドットを挿入してもよい。もちろん、量子ドットの代わりに量子ワイヤを挿入してもよい。

【0068】

このように光導波路層に量子ドット（または量子ワイヤ）を挿入するので、キャリア濃度変化により屈折率変化が影響する領域のキャリア寿命を短縮化することができる。これにより、クラッド層への漏れ光による光応答への影響を軽減することができる。従って、光スイッチの光応答速度を高速化できる。

【0069】

また、基板 3 0 上に形成された "X 字状" の光導波路 3 1 を例を示したが、勿論、出射用の光導波路を 2 つ有する光導波路であれば "y 字状" であっても、その他の形状であっても構わない。ここで、"y 字状" の光導波路 3 1 とは、1 本の直線の光導波路の途中から異なる角度で分岐する形状である。

【0070】

また、不純物拡散領域である "DR 4 3" を、光導波路 3 1 が交差する交差部分の左半分に設ける構成を示したが、中央部分に設けてもよい。

【0071】

さらに、基板 3 3 の上に n^+ 型の InP 層 3 4 を形成している例を示したが、必須の構成要素ではないので省略してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図 1】本発明に係る光スイッチの一実施例を示す平面図である。

【図 2】本発明に係る光スイッチの一実施例を示す断面図である。

【図 3】従来の光スイッチの一例を示す平面図である。

【図 4】従来の光スイッチの一例を示す断面図である。

【図 5】キャリアの有効質量が小さい材料系を用いた従来の光スイッチの一例を示す断面図である。

【図 6】電流狭窄によって、屈折率変化領域を限定する従来の光スイッチの一例を示す平面図である。

【図 7】電流狭窄によって、屈折率変化領域を限定する従来の光スイッチの一例を示す断面図である。

【符号の説明】

【0073】

3 0、3 3 基板

3 1 光導波路

3 5 下部クラッド層

3 6 コア層

10

20

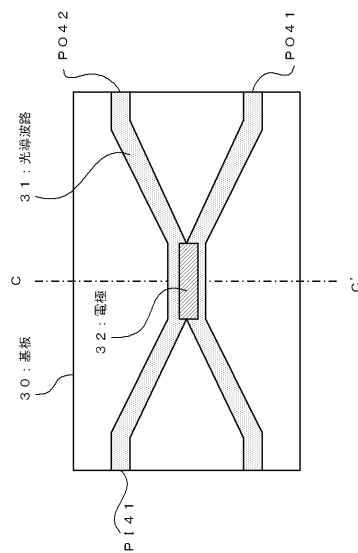
30

40

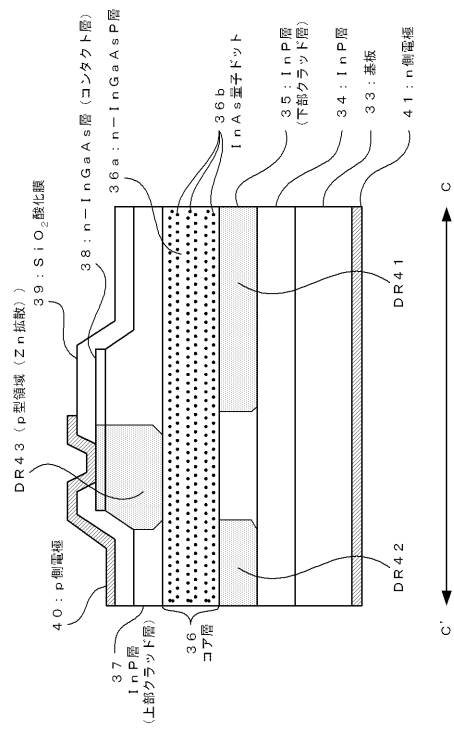
50

- 36a n型のInGaAs層
 36b InAs量子ドット
 37 上部クラッド層

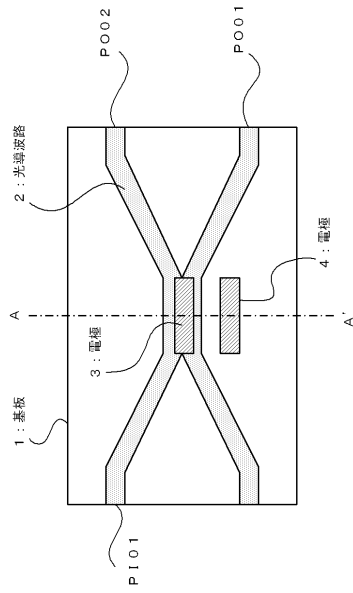
【図1】



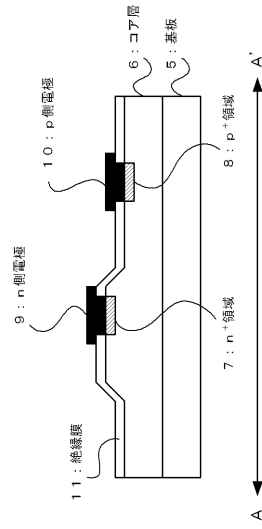
【図2】



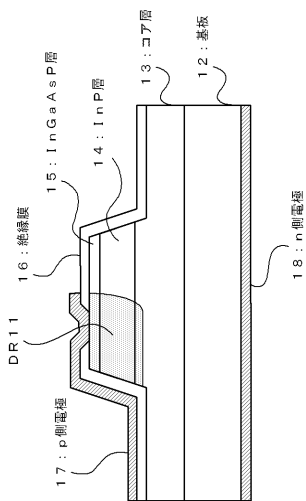
【図 3】



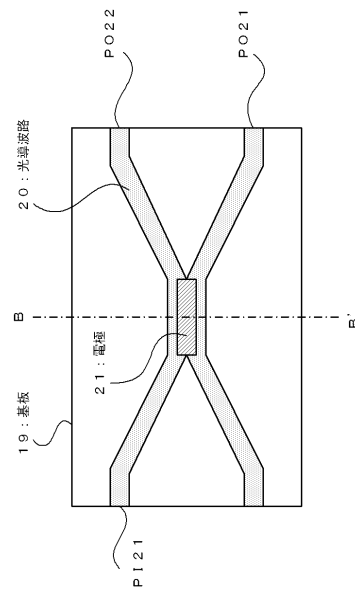
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 末広 雅幸
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 浅野 義之
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 中島 眞一
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 八木原 剛
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 三浦 明
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内

審査官 林 祥恵

- (56)参考文献 特開2004-029171 (JP, A)
特開2000-029081 (JP, A)
特開平06-130432 (JP, A)
特開昭63-013023 (JP, A)
特開平11-064900 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F	1/00-1/125
G02F	1/29-1/39
G02B	6/12-6/14
H01S	5/00-5/50