

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4168437号
(P4168437)

(45) 発行日 平成20年10月22日 (2008.10.22)

(24) 登録日 平成20年8月15日 (2008.8.15)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 31/10 (2006.01)	HO 1 L 31/10 A
HO 1 L 31/0232 (2006.01)	HO 1 L 31/02 C

請求項の数 7 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2000-341335 (P2000-341335)	(73) 特許権者	000004237
(22) 出願日	平成12年11月9日 (2000.11.9)		日本電気株式会社
(65) 公開番号	特開2002-151728 (P2002-151728A)		東京都港区芝五丁目7番1号
(43) 公開日	平成14年5月24日 (2002.5.24)	(74) 代理人	100096253
審査請求日	平成16年4月26日 (2004.4.26)		弁理士 尾身 祐助
		(72) 発明者	竹内 剛
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		審査官	金高 敏康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体受光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板上に、バンドギャップ波長が入射光波長よりも短いガイド層が形成され、バンドギャップ波長が入射光波長と等しいかこれより長い半導体からなる光吸収層が前記ガイド層の光入射端面に近い部分を除いて前記ガイド層に沿って形成され、前記ガイド層に前記半導体基板と平行な方向から信号光が入射される半導体受光素子において、前記光吸収層が形成された領域である光電変換部での前記光吸収層および前記ガイド層のメサ幅が、光入射側の端部寄りで最大、その反対側の端部寄りで最小となるように光の導波方向に沿って変化していることを特徴とする半導体受光素子。

【請求項2】

前記光電変換部よりも前方に位置する前記ガイド層が導波路としてメサ状に形成されており、その領域でのメサ幅が光を入射する側から光の導波方向に沿って減少していることを特徴とする請求項1記載の半導体受光素子。

【請求項3】

半導体基板上に、バンドギャップ波長が入射光波長よりも短いガイド層が形成され、バンドギャップ波長が入射光波長と等しいかこれより長い半導体からなり、膜厚が前記ガイド層の膜厚より薄い光吸収層が前記ガイド層に沿って形成され、この光吸収層に前記半導体基板と平行な方向から信号光が入射される半導体受光素子において、前記光吸収層が形成された領域である光電変換部での前記光吸収層および前記ガイド層のメサ幅が、光入射側の端部寄りで最大、その反対側の端部寄りで最小となるように光の導波方向に沿って変

10

20

化していることを特徴とする半導体受光素子。

【請求項 4】

前記光吸収層がInGaAs、前記ガイド層がInAlGaAsまたはInGaAsPにより形成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 3 の何れかに記載の半導体受光素子。

【請求項 5】

前記ガイド層が前記光吸収層の下層に形成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 4 の何れかに記載の半導体受光素子。

【請求項 6】

前記光電変換部のメサ幅が、素子動作時の光導波方向単位長さ当りの光電流密度が高い部分ほど広く、低い部分ほど狭く設計されていることを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れかに記載の半導体受光素子。

10

【請求項 7】

前記光電変換部のメサ幅が、光入射側から光導波方向に向かって、次の内の何れかの形態をとることを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れかに記載の半導体受光素子。

1. 直線的に増大した後、一定幅を維持し、その後直線的に減少する。
2. 直線的に減少する。
3. 一定幅を維持した後、直線的に減少する。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

20

本発明は、光通信システムの受信モジュールに用いられる半導体受光素子に関し、特に信号光が基板に平行に入射され光電変換部がメサ状に形成されている半導体受光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光通信システムの受信モジュールに用いられる半導体受光素子として、装荷型半導体受光素子の研究開発が進められている。従来の導波路型素子では、入射光を入射端面の光吸収層に直接照射する形態であり、入射端面近傍に光電流が集中しやすかった。そのため、例えばエルビウムドープファイバーアンプからの出射光のような強度の高い光が入射された場合に入射端面が破壊されやすいという問題点があった。これに対して装荷型受光素子（あるいはエバネッセント波結合型受光素子とも呼ばれる）は、まず入射光に対して透明な半導体層であるガイド層に光を入射し、その入射部から数十ミクロン以上離れた位置に形成された光電変換部まで光を導波させ、光電変換部においてはガイド層から層厚方向に染み出した光（エバネッセント波）を光吸収層で光電変換する。したがって、光電変換の形態が、いわば間接的であり、導波路型素子と比較して光電流の集中が緩和され、強度の高い光が入射された場合にも素子が破壊されにくいという利点がある。

30

【0003】

このような耐高光入力特性に着目して作製された装荷型半導体受光素子としては、例えば「1999年秋季、第60回応用物理学会学術講演会講演予稿集第3分冊、985頁、講演番号1p-ZC-8」にその一例が報告されている。この素子の基本構造を図6に示す。図6(a)は、本従来例の平面図、図6(b)は、図6(a)のA-A'線での断面図である。図6に示すように、半絶縁性InP基板101上にn⁺-InPクラッド層102、n⁺-InAlGaAsガイド層（波長組成1.3μm、層厚1μm）103、i-InGaAs光吸収層104（層厚0.5μm）、p⁺-InPクラッド層105、p⁺-InGaAsコンタクト層106からなる層構造を有し、入射端面から長さ20μmにわたって、n⁺-InAlGaAsガイド層103をコア層とする光導波路である受動導波路部108が形成され、その後方に光電変換部107が形成されている。この報告では、光電流10mAという高光入力状態においても素子の劣化が見られないことが報告されている。

40

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

50

従来の装荷型半導体受光素子の問題点は、耐高光入力性が、従前の導波路型受光素子と比較すれば増すものの必ずしも充分ではないことである。すなわち、装荷型半導体受光素子であっても、光電変換部の光電流密度が高い部分における局所的な発熱が素子の耐性を越える場合がある。

本発明の目的は、耐高光入力性をさらに高めた半導体受光素子を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明によれば、半導体基板上に、バンドギャップ波長が入射光波長よりも短いガイド層が形成され、バンドギャップ波長が入射光波長と等しいかこれより長い半導体からなる光吸収層が前記ガイド層の光入射端面に近い部分を除いて前記ガイド層に沿って形成され、前記ガイド層に前記半導体基板と平行な方向から信号光が入射される半導体受光素子において、前記光吸収層が形成された領域である光電変換部での前記光吸収層および前記ガイド層のメサ幅が、光入射側の端部寄りで最大、その反対側の端部寄りで最小となるように光の導波方向に沿って変化していることを特徴とする半導体受光素子、が提供される。

10

【0006】

また、上記の目的を達成するため、本発明によれば、半導体基板上に、バンドギャップ波長が入射光波長よりも短いガイド層が形成され、バンドギャップ波長が入射光波長と等しいかこれより長い半導体からなり、膜厚が前記ガイド層の膜厚より薄い光吸収層が前記ガイド層に沿って形成され、この光吸収層に前記半導体基板と平行な方向から信号光が入射される半導体受光素子において、前記光吸収層が形成された領域である光電変換部での前記光吸収層および前記ガイド層のメサ幅が、光入射側の端部寄りで最大、その反対側の端部寄りで最小となるように光の導波方向に沿って変化していることを特徴とする半導体受光素子、が提供される。

20

【0007】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について、実施例に則して図面を参照して詳細に説明する。

〔第一の実施例〕

図1(a)は、本発明の第一の実施例を示す平面図であり、図1(b)、(c)は、図1(a)のA-A'、B-B'線での断面図である。また、図2は第一の実施例の動作を説明するためのグラフである。本実施例の結晶層構造は、半絶縁性InP基板1上に、n⁺-InPクラッド層2(層厚0.5μm)、n⁺-InAlGaAsガイド層3(波長組成1.3μm、層厚0.7μm)、i-InGaAs光吸収層4(層厚0.5μm)、p⁺-InPクラッド層5(層厚1μm)、p⁺-InGaAsコンタクト層6が順次積層されたものである。そして、図1(b)、(c)に示すように、深さの異なる複数回のエッチング工程により、半絶縁性InP基板1が露出するまでエッチングした領域、n⁺-InPクラッド層2が露出するまでエッチングした領域、n⁺-InAlGaAsガイド層3が露出するまでエッチングした領域、および、エッチングを施さず、p⁺-InGaAsコンタクト層6が残った領域が形成されている。このp⁺-InGaAsコンタクト層6が残った領域が、入射光を光電変換する光電変換部7である。そして、n⁺-InAlGaAsガイド層3が露出するまでエッチングした領域は、入射光を光電変換部7に導波させるための受動導波路部8である。ここで、光電変換部7の導波路メサの幅は、光入射側から光導波方向に向かって、直線的に広がった後、一定の幅を維持し、その後に漸減するようになされている(2段階で直線的に逓減している)。そして、光電変換部7および受動導波路部8の長さ(図1(b)で示した方向の寸法)は、それぞれ40μm、20μmである。さらに、図1(b)、(c)に示すように、これらのエッチング工程後の素子上面に窒化シリコン膜9が形成されている。そして、p⁺-InGaAsコンタクト層6が残った領域上とn⁺-InPクラッド層2の露出した領域の窒化シリコン膜9の一部が除去され、その除去された領域にはp側電極としてのAuZnアロイ電極10と、n側電極としてのAuGeNiアロイ電極11が形成されている。そして、図1(a)~(c)に示すように、AuZnアロイ電極10、AuGeNiアロイ電極11を拡大、延長するTiPtAu電極12a、12b、12cが形成され、さらに、これらのTiPt

30

40

50

Au電極上に、これを補強するAuメッキ電極13a、13b、13cが形成されている。そして、素子の入射端面に反射防止膜として窒化シリコン膜14が形成されている。

【0008】

次に、第一の実施例の動作、効果について説明する。まず、装荷型受光素子としての基本的な動作、効果について説明する。本実施例素子では、図1(a)、(b)に矢印で示した位置から信号光を入射する。この入射光の波長は、光通信で通常用いられる波長帯である $1.55\mu\text{m}$ 帯が想定されている。入射された光は、 $\text{n}^+\text{-InAlGaAs}$ ガイド層3を光導波のためのコア層として伝播し、光電変換部7で光が i-InGaAs 光吸収層4に染み出すことにより光電変換され、Auメッキ電極13a、13b、13cに接続された外部の電気回路に電気信号として取り出される。このとき、本実施例では装荷型受光素子としての特徴として、光電変換部7が信号光を入射する端面から離れた位置に形成されており、かつ、 i-InGaAs 光吸収層4の前方(入射端面方向)には半導体層が存在しない構造となっているので、通常の導波路型受光素子と異なり、 i-InGaAs 光吸収層4の入射端面方向の側面からはほとんど光が入射しない。したがってこの側面近傍の光電流密度は極めて低く、高光入力に対しても素子が劣化、破壊しにくい。

10

【0009】

次に、従来例と異なる動作、効果について説明する。本実施例が図6に示した従来の装荷型受光素子と異なる点は、従来の装荷型受光素子では、図6(a)に示すように、光電変換部107の幅が一定であるのに対し、第一の実施例では図1(a)に示すように、一定ではない点である。この第一の実施例の効果について、図2を用いて説明する。図2は装荷型受光素子に光を入射したときの光電変換部内の光電流密度を計算した例である。図に示すように、光電流密度は入射側から数 μm のところで大きなピークを持ち、その後、増減を繰り返しながら次第に減衰していく。

20

【0010】

このような振る舞いは、図1(b)あるいは図6(b)において、 $\text{n}^+\text{-InAlGaAs}$ ガイド層に入射した光が、光電変換部において i-InGaAs 光吸収層と $\text{n}^+\text{-InAlGaAs}$ ガイド層との間で上下に蛇行しながら導波され、次第に吸収されていく現象を反映している。そして、光電流密度の高いところほど局所的な発熱が大きく、高光入力時には、この発熱の大きい部分から破壊が起こる。ここで、第一の実施例では、光電流密度の高い部分(発熱の大きい部分)ほどメサ幅を広く形成してあるので、電流の局部集中が緩和されることにより高光入力時にも局所的な温度上昇が抑えられ、素子が破壊されにくくなる。さらに、光電流密度の低い部分(発熱の小さい部分)はメサ幅を狭く形成してあるので、メサ面積増大による素子容量増大を防ぐことができ、素子の応答速度の高速性を保つことができる。

30

【0011】

[第二の実施例]

図3は、本発明の第二の実施例を示す平面図であって、第一の実施例における図1(a)に対応する図である。第二の実施例が第一の実施例と異なる点は、図3に示されるように、光電変換部7のメサ形状が、より単純に入射側が広く、後端側が狭い形状となっている点である。その他、素子の基本的な構造は第一の実施例と同様である。

次に、第二の実施例の動作、効果について説明する。第二の実施例では第一の実施例と比較してメサ形状がより単純であることから素子作製が容易で、作製歩留まりが向上するという効果が得られる。このとき、高光入力時にも素子が破壊されにくいという効果、およびメサ面積増大による素子容量増大を防ぐことができるという効果についても、第一の実施例とほぼ同等の効果が得られる。また、第二の実施例では光電変換部7の入射側のメサ幅が広がっており、したがって受動導波路部8のメサ幅も、それにあわせて広く設計することが可能で、入射光との水平方向の結合効率が向上し、高い量子効率が得られる。

40

【0012】

以上、第一、第二の実施例においては、装荷型構造の受光素子、すなわち、光電変換部7の前方に受動導波路部8が形成された受光素子の例を挙げたが、この構造に限らず、通常の導波路型受光素子、すなわち、受動導波路部8が形成されておらず、直接光電変換部7

50

に光を入射する構造の受光素子に対しても、本発明の適用が可能で、第一、第二の実施例と同等の効果が得られる。すなわち導波路型受光素子においても、第一の実施例と同様に、光電変換部のメサ幅を、光電流密度が高いところほど広く、低いところほど狭く形成することにより高光入力時にも素子が破壊されにくく、かつ応答速度の速い素子を得ることができ、また、第二の実施例と同様に、光電変換部のメサ幅を入射側が広く、後端側が狭い形状とすることにより、第一の実施例の効果に加えて、作製歩留まりの向上、素子の高量子効率化という効果が得られる。

【0013】

[第三の実施例]

図4は、本発明の第三の実施例を示す平面図であって、第二の実施例における図3に対応する図である。第三の実施例では、まず、光電変換部7のメサ形状が第二の実施例と同様に、入射側が広く後端側が狭い形状となっているが、さらにここで第三の実施例では、受動導波路部8のメサ幅も入射側が広くなっている点が異なる。この他、素子の基本的な構造は第一あるいは第二の実施例と同様である。

第三の実施例では、受動導波路部8の入射側のメサ幅が広くなっているので、水平方向の結合効率が第二の実施例と比較してさらに高まり、高い量子効率を得られる。

なお、第三の実施例では、第二の実施例において受動導波路部8の入射側のメサ幅を広くした例を示したが、第一の実施例において受動導波路部8の入射側のメサ幅を広くした場合にも水平方向の結合効率が高まり、高い量子効率を得られるという効果は同様である。

【0014】

[第四の実施例]

図5は、本発明の第四の実施例を示す平面図であって、第三の実施例における図3に対応する図である。第四の実施例では、受動導波路部8のメサ幅が、第三の実施例と同様に、入射側が広くなっている。第四の実施例の第三の実施例と相違する点は、光電変換部7のメサ幅が、光入射側から光電流密度が最大となる手前まで一定であり、その後導波方向に向かって直線的に減少している点である。それ以外の、素子の基本的な構成は第三の実施例と同様である。

この第四の実施例によれば、第三の実施例の効果を全て得ることができる外、光電変換部7の面積が第三の実施例の場合よりも狭くすることができ、応答速度のより速い受光素子を実現することができる。

なお、第四の実施例では、第三の実施例において光電変換部7のメサ幅を入射側から一定幅とした後に漸減する例を示したが、第二の実施例において光電変換部の形状を第四の実施例のようにしても、より応答速度の速い受光素子を実現できるという第四の実施例と同様の効果が得られる。

【0015】

以上好ましい実施例について説明したが、本発明はこれら実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱することのない範囲内において適宜の変更が可能である。例えば、各実施例では、光電変換部の構造がそれぞれいわゆるpinフォトダイオード構造である場合を説明したが、これらに限らず、アバランシェフォトダイオード構造や、ショットキーフォトダイオード構造など他のフォトダイオード構造であってもよい。また、ガイド層の材料をInAlGaAsに代えてInGaAsPを用いることができる等実施例での材料、組成等は適宜変更できるものである。また、導波路型受光素子では、ガイド層を光吸収層上に設けるようにしてもよく更に光吸収層の上下にガイド層を設けるようにしてもよい。

【0016】

[発明の効果]

以上説明したように、本発明による半導体受光素子は、光電変換部の導波路メサ幅が、光電流密度の高い部分ほど広く、低い部分ほど狭く設計されているので、光電流密度の粗密を緩和して高光入力時の局所的な温度上昇を抑制することができると共に、光電流密度の低い部分の面積を縮小することにより素子容量を低減することができる。従って、本発明によれば、高光入力に対する耐性を高めることが出来ると共に、応答速度の高速化を実現す

10

20

30

40

50

ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第一の実施例の平面図と断面図。

【図2】 本発明の第一の実施例の効果を説明するためのグラフ。

【図3】 本発明の第二の実施例の平面図。

【図4】 本発明の第三の実施例の平面図。

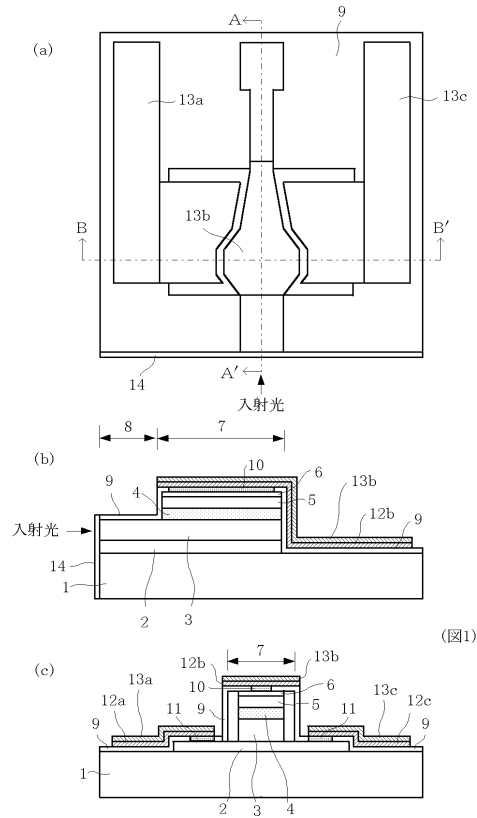
【図5】 本発明の第四の実施例の平面図。

【図6】 従来例の平面図と断面図。

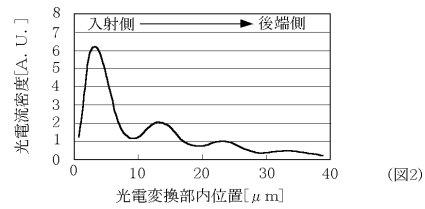
【符号の説明】

1	半絶縁性InP基板	10
2	n ⁺ -InPクラッド層	
3	n ⁺ -InAlGaAsガイド層	
4	i-InGaAs光吸収層	
5	p ⁺ -InPクラッド層	
6	p ⁺ -InGaAs コンタクト層	
7	光電変換部	
8	受動導波路部	
9	窒化シリコン膜	
10	AuZnアロイ電極	
11	AuGeNiアロイ電極	20
12	TiPtAu電極	
13	Auメッキ電極	
14	窒化シリコン膜	
101	半絶縁性InP基板	
102	n ⁺ -InPクラッド層	
103	n ⁺ -InAlGaAsガイド層	
104	i-InGaAs光吸収層	
105	p ⁺ -InPクラッド層	
106	p ⁺ -InGaAsコンタクト層	
107	光電変換部	30
108	受動導波路部	
109	窒化シリコン膜	
110	AuZnアロイ電極	
111	TiPtAu電極	
112	Auメッキ電極	
113	窒化シリコン膜	

【図 1】

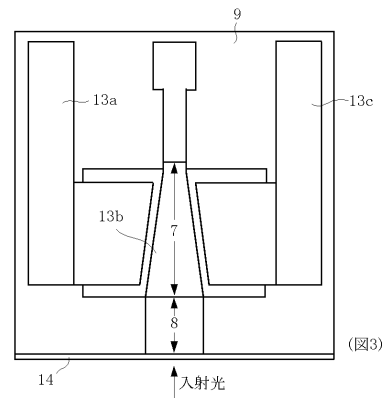


【図 2】

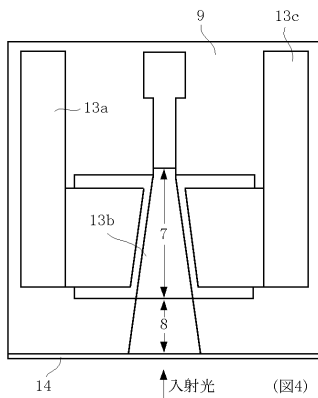


- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1 半絶縁性 InP 基板 | 8 受動導波路部 |
| 2 n ⁺ -InP クラッド層 | 9 窒化シリコン膜 |
| 3 n ⁺ -InAlGaAs ガイド層 | 10 AuZn アロイ電極 |
| 4 i-InGaAs 光吸収層 | 11 AuGeNi アロイ電極 |
| 5 p ⁺ -InP クラッド層 | 12 TiPtAu 電極 |
| 6 p ⁺ -InGaAs コンタクト層 | 13 Au メッキ電極 |
| 7 光電変換部 | 14 窒化シリコン膜 |

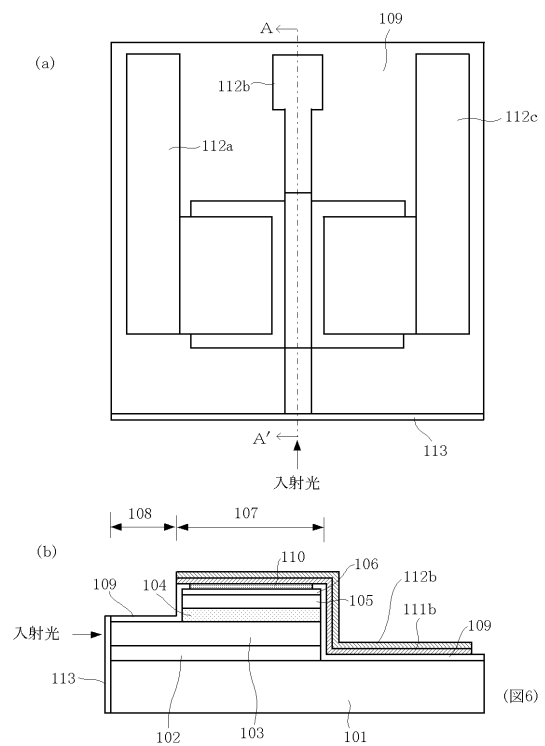
【図 3】



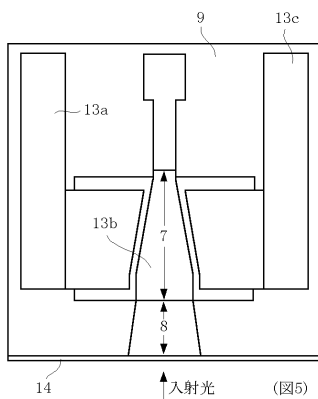
【図 4】



【図 6】



【図 5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平04-211209 (JP, A)
特開2001-223369 (JP, A)
特開平04-134896 (JP, A)
特開平09-153638 (JP, A)
特開2000-292637 (JP, A)
実公昭60-042476 (JP, Y1)
特開平10-223921 (JP, A)
特開平10-125948 (JP, A)
特開平09-139520 (JP, A)
特開平07-066502 (JP, A)
特開平03-120876 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 31/10
H01L 31/0232