

(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2007-288089

(P2007-288089A)

(43) 公開日 平成19年11月1日(2007.11.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 31/10 (2006.01)	HO 1 L 31/10 A	5 F O 4 1
HO 1 L 31/02 (2006.01)	HO 1 L 31/02 B	5 F O 4 9
HO 1 L 33/00 (2006.01)	HO 1 L 33/00 A	5 F O 8 8
HO 1 S 5/042 (2006.01)	HO 1 L 33/00 N	5 F 1 7 3
HO 1 S 5/02 (2006.01)	HO 1 S 5/042 6 1 O	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2006-116473 (P2006-116473)

(22) 出願日 平成18年4月20日 (2006.4.20)

(71) 出願人 301005371

日本オブネクスト株式会社

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

(74) 代理人 110000350

ポレール特許業務法人

(72) 発明者 神山 博幸

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

日本オブネクスト株式会社内

(72) 発明者 豊中 隆司

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

日本オブネクスト株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA21 AA25 CA04 CA05 CA12

CA39 CA92 CB05 CB15 CB36

DA07 DA83 FF14

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光素子および光モジュール

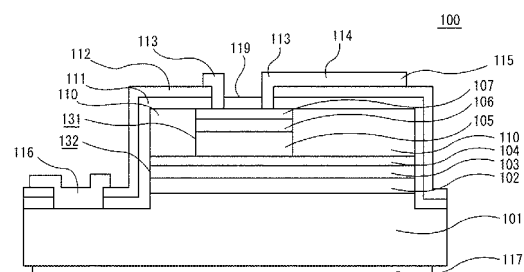
## (57) 【要約】

【課題】発光素子、受光素子等の活性領域がメサ型形状の光素子において、メサ型構造の高さが高く、誘電体膜の厚みが厚い場合に、配線の断線の回避が困難、配線の引き出し方向の制約、容量の低減が不十分等の問題がある。

【解決手段】メサ構造131を有する光素子100の周囲に高抵抗の再成長層110を配置する。これによって、円形の主要構造のエッチング時に現れる面方位を持ったメサ部131が再成長層110で被覆される。この被覆によって、この部位での容量も低減されるとともに全ての配線引き出し方向に対して断線の危険性も回避することが出来る。さらに、再成長層の厚さは主要構造部の厚みと同等に設定できる。特に導電性基板を用いた際に誘電体膜111、112との組み合わせにより大きな寄生容量の低減効果が期待できる。

【選択図】図1

図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体基板上にメサ型形状の活性領域が形成された光素子において、  
その光素子を構成する前記半導体基板を含む半導体層の中で前記半導体基板または前記半導体基板近傍に配置された第 1 の半導体層は、第 1 の導電性を有し、  
前記光素子の活性領域に対して、前記半導体基板とは逆側に配置された第 2 の半導体層から配線の少なくとも一部と、前記配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、前記メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されていることを特徴とする光素子。

## 【請求項 2】

前記光素子の前記誘電体膜の厚さが  $0.4 \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

## 【請求項 3】

前記光素子の前記メサ型形状の活性領域の頂部と底部の段差が  $2 \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

## 【請求項 4】

前記光素子の前記高抵抗の半導体層の厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

## 【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか一つに記載された光素子であって、  
前記半導体基板が前記第 1 の導電性を有することを特徴とする光素子。

## 【請求項 6】

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか一つに記載された光素子であって、  
前記半導体基板が半絶縁性を有し、前記半導体基板近傍に配置された前記第 1 の半導体層が前記第 1 の導電性を有することを特徴とする光素子。

## 【請求項 7】

請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか一つに記載された光素子であって、  
前記光素子は、受光素子または発光素子であることを特徴とする光素子。

## 【請求項 8】

少なくとも受光素子と、この受光素子に接続され電流入力を変換する負帰還アンプとからなる光モジュールにおいて、

前記受光素子は、その受光素子を構成する前記半導体基板を含む半導体層の中で前記半導体基板または前記半導体基板近傍に配置された第 1 の半導体層は、第 1 の導電性を有し、

前記受光素子の活性領域に対して、前記半導体基板とは逆側に配置された第 2 の半導体層から配線の少なくとも一部と、前記配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、前記メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されていることを特徴とする光モジュール。

## 【請求項 9】

少なくとも発光素子と、この発光素子を駆動するドライバとからなる光モジュールにおいて、

前記発光素子は、その発光素子を構成する前記半導体基板を含む半導体層の中で前記半導体基板または前記半導体基板近傍に配置された第 1 の半導体層は、第 1 の導電性を有し、

前記発光素子の活性領域に対して、前記半導体基板とは逆側に配置された第 2 の半導体層から配線の少なくとも一部と、前記配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、前記メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されていることを特徴とする光モジュール。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は半導体光素子に係り、特に光通信に用いるに好適な光素子および光モジュールに関するものである。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

基板に対して垂直方向に光信号を送出するする発光素子または基板に対して垂直方向からの光信号を受信する受光素子等の光機能素子（光素子）において、活性領域がメサ型形状の光素子の場合には、段差部分での配線の断線の回避、および配線と電極パッドに起因する寄生容量の低減に配慮する必要がある。

## 【 0 0 0 3 】

このため、特許文献 1 では、あらかじめ段差を形成した高抵抗基板への活性領域の成長により段差を軽減し高抵抗基板上に配線している。また、特許文献 2 には、活性領域に接した高抵抗半導体層上に配線を形成している。

## 【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 5 - 5 6 0 0 号公報

【 特許文献 2 】 特開平 6 - 1 1 2 5 9 5 号公報

## 【 発明の開示 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 5 】

しかし、特許文献 1 または特許文献 2 に記載された構造では、メサ型構造の高さが高く、誘電体膜の厚みが厚い場合に十分に配線の断線の回避ができない虞がある。また、配線の引き出し方向への制約があり、容量の低減が不十分である。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 6 】

メサ部を有する面出力型の発光素子および面入力型の受光素子のメサ部の周囲に高抵抗の再成長層を配置する。これによって、円形の主要構造のエッチング時に現れる面方位を持ったメサ部も再成長層で被覆される。このため、この部位での容量も低減できる。また、配線引き出し方向に規制がない。さらに、再成長層の厚さは主要構造部の厚みと同等に設定できるため、特に導電性基板を用いた際に誘電体膜との組み合わせにより大きな寄生容量の低減効果が期待できる。

## 【 0 0 0 7 】

半導体基板上にメサ型形状の活性領域が形成れ、光素子を構成する半導体基板を含む半導体層の中で半導体基板または半導体基板近傍に配置された第 1 の半導体層は、第 1 の導電性を有し、光素子の活性領域に対して、半導体基板とは逆側に配置された第 2 の半導体層から配線の少なくとも一部と、配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されている光素子により、解決することができる。

## 【 0 0 0 8 】

半導体基板上にメサ型形状の活性領域が形成れ、半導体基板に対して垂直方向からの光を受信し、受光素子を構成する半導体基板を含む半導体層の中で半導体基板または半導体基板近傍に配置された第 1 の半導体層は、第 1 の導電性を有し、受光素子の活性領域に対して、半導体基板とは逆側に配置された第 2 の半導体層から配線の少なくとも一部と、配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されている受光素子により、達成することができる。

## 【 0 0 0 9 】

半導体基板上にメサ型形状の活性領域が形成された、半導体基板に対する垂直方向へ光を送出し、発光素子を構成する半導体基板を含む半導体層の中で半導体基板または半導体基板近傍に配置された第 1 の半導体層は、第 1 の導電性を有し、発光素子の活性領域に対して、半導体基板とは逆側に配置された第 2 の半導体層から配線の少なくとも一部と、配

10

20

30

40

50

線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されている発光素子により、解決することができる。

#### 【0010】

少なくとも受光素子と、この受光素子に接続され電流入力を電圧出力に変換する負帰還アンプとからなり、受光素子は、その受光素子を構成する半導体基板を含む半導体層の中で半導体基板または半導体基板近傍に配置された第1の半導体層は、第1の導電性を有し、受光素子の活性領域に対して、半導体基板とは逆側に配置された第2の半導体層から配線の少なくとも一部と、配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されている光モジュールにより、達成することができる。

10

#### 【0011】

少なくとも発光素子と、この発光素子を駆動するドライバとからなり、発光素子は、その発光素子を構成する半導体基板を含む半導体層の中で半導体基板または半導体基板近傍に配置された第1の半導体層は、第1の導電性を有し、発光素子の活性領域に対して、半導体基板とは逆側に配置された第2の半導体層から配線の少なくとも一部と、配線の一端に形成されたボンディング用電極パッドとは、メサ型形状の活性領域の周囲に接して成長された高抵抗の半導体層上に誘電体層を介して形成されている光モジュールにより、解決できる。

#### 【発明の効果】

20

#### 【0012】

円形の主要構造のエッチング時に現れる面方位を持ったメサ部も再成長層で被覆されるため、この部位での寄生容量を低減できる。また、全ての配線引き出し方向に対して断線の危険性も回避することが出来る。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0013】

以下本発明の実施の形態について、実施例を用いて図面を参照しながら説明する。

#### 【実施例1】

#### 【0014】

図1および図2を参照して、実施例1を説明する。ここで、図1は表面入力型APD (Avalanche Photo Diode) 素子の断面図である。図2は、APD素子を搭載した光受信モジュールのブロック図である。なお、図1以下の断面図には、煩雑さを防止するため、断面を示すハッチングは施さない。

30

#### 【0015】

図1において、APD素子100は、InP基板101(導電型：n型、不純物濃度： $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )上に、バッファ(下部)層102(n型InAlAs層、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ： $0.5 \mu\text{m}$ (マイクロメータ))と、増倍層103(n型InAlAs層、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.4 \mu\text{m}$ )と、電界調整層104(p型InAlAs層、 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.04 \mu\text{m}$ )と、光吸収層105(p型InGaAs層、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1.8 \mu\text{m}$ )と、キャップ層106(上部バッファ層)(p型InAlAs層、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.7 \mu\text{m}$ )と、p型コンタクト層107(p型InGaAs層、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ )とを、MOCVD法にて積層形成した構造を有する。ここで、上下のバッファ層102、106は、電子を閉じ込める機能部である。光吸収層105は感光層であり、増倍層103は文字通り増倍層である。また、光吸収層105と増倍層103との間の電界調整層104は、両者の電界バランスを調整する。

40

#### 【0016】

APD100の主要活性領域は、2段のメサ型構造となっている。内側にある第1メサ131は、リン酸系溶液でp型コンタクト層107から電界調整層104の途中までエッチングして形成する。第1メサ131の周囲を、InP再成長層110(高抵抗、 $2.0 \mu\text{m}$ )により埋め込み、さらにその外側を、HBr系のエッチング溶液によりInP再成長

50

層 1 1 0 から I n P 基板 1 0 1 に達するまでエッチングすることにより、第 2 メサ 1 3 2 を形成している。なお、ここで光吸収層 1 0 5 とキャップ層 1 0 6 と p 型コンタクト層 1 0 7 の膜厚の合計は、 $2.6\ \mu\text{m}$ であるのに対して、I n P 再成長層 1 1 0 は $2.0\ \mu\text{m}$ と薄いのは、突起状の第 1 メサ 1 3 1 の周囲に I n P 再成長層 1 1 0 が厚く形成されるためである。なお、高抵抗の I n P 再成長層 1 1 0 は、アンドープであっても意図的にドーピングして高抵抗にしても良い。アンドープの不純物濃度は $1\text{E}15\text{cm}^{-3}$ 以下である。

#### 【0017】

ここで、半導体層の上には誘電体保護膜として、S i N 膜 1 1 1 ( $0.2\ \mu\text{m}$ )と S i O<sub>2</sub> 膜 1 1 2 ( $0.4\ \mu\text{m}$ )を用いた。誘電体膜には、スルーホールを加工する。p 型オーミック電極 1 1 3 (T i / P t / A u、 $0.7\ \mu\text{m}$ )は、スルーホールを介して、p 型コンタクト層 1 0 7 と接触させ、S i N 膜 1 1 1 と S i O<sub>2</sub> 膜 1 1 2 および I n P 再成長層 1 1 0 上にその配線部 1 1 4 (幅 $10\ \mu\text{m}$ 、長さ $40\ \mu\text{m}$ )と電極パッド 1 1 5 ( $75\ \mu\text{m}$ )を配置し、寄生容量を低減し、断線の生じない構造とした。なお、p 型オーミック電極 1 1 3 の形成と同時に、n 型オーミック電極 1 1 6 も形成している。また、素子の活性領域の配置されていない I n P 基板裏面側を、厚さ $200\ \mu\text{m}$ まで研磨した後、ダイボンディング用裏面金属膜 1 1 7 (A u G e / N i / T i / P t / A u、厚さ $0.8\ \mu\text{m}$ )を形成する。なお、受光部の反射防止膜 1 1 9 は、前述した誘電体膜と同時に形成した S i N 膜である。

10

#### 【0018】

受光径が $40\ \mu\text{m}$ である素子の特性を逆バイアス電圧を印加して評価したところ、降伏電圧は $40\text{V}$ 、暗電流は $36\text{V}$ で $15\text{nA}$ と良好であった。また、ウエハ全体の容量分布の中間値が $0.3\text{pF}$ と十分に寄生容量が低減されていた。さらに、配線部の断線を含むオープン不良は、 $1\%$ 未満と良好であった。

20

#### 【0019】

上述の実施例 1 では、A P D の構造として 2 段メサ構造をとったが、エッチングと結晶再成長の順序、組み合わせにより別のメサ構造をとることも可能であるし、また、増倍層材料として、I n A l A s を、吸収材料として I n G a A s を用いたが、別の材料系を用いた場合についても効果は同様である。また、n 型の I n P 基板を用いたが、I n P 基板の近傍に n 型のコンタクト層を設けて、この層に n 型オーミック電極を接続しても良い。

#### 【0020】

上述したと同様の A P D の構造で、p 型電極の配線と電極パッドの下に誘電体膜のみ用いて I n P 再成長層を用いない構造 (図示しない比較例 1) で、逆バイアス電圧を印加して評価したところ、配線部の断線を含むオープン不良が、 $80\%$ と極めて高かった。また、断線が無く測定できる素子についても、ウエハ全体の容量分布の中間値が $1.0\text{pF}$ と高かった。

30

#### 【0021】

発明者等は、実施例 1 と比較例 1 の間の不良率の違い、容量の違いは、誘電体層の合計膜厚、メサ型の活性領域の頂部と底部の段差、再成長半導体層厚さに起因すると考えている。そして、それらの境界値は、誘電体膜全体の厚さが $0.4\ \mu\text{m}$ 以上、再成長半導体層を除くメサ型の活性領域の頂部と底部の段差が $2\ \mu\text{m}$ 以上、再成長半導体層厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上のうちいずれかが一つを超えるとき、顕著な差として現れる。

40

#### 【0022】

本実施例に拠れば、円形の主要構造のエッチング時に現れる面方位を持ったメサ部も再成長層で被覆されるため、この部位での寄生容量を低減できる。また、全ての配線引き出し方向に対して断線の危険性も回避することが出来る。

#### 【0023】

図 2 に示す光受信モジュール 3 0 0 は、A P D 素子 3 3 1 とリミットアンプ付 T I A (Trans Impedance Amplifier) 3 3 0 とで構成される。また、リミットアンプ付 T I A 3 3 0 は、プリアンプ 3 3 1 と帰還抵抗 3 3 2 とリミットアンプ 3 3 3 とから構成され、電流入力を電圧出力に変換する負帰還アンプである。光受信モジュールは矢印で示した光信

50

号を受信し、リミットアンプ付 T I A 3 3 0 の正相出力である O U T 1 端子 3 1 0 と、逆相出力である O U T 2 端子 3 2 0 とから電気信号として、出力される。

【 0 0 2 4 】

この光受信モジュール 3 0 0 は、A P D 素子 1 0 0 の受光径が  $40\mu\text{m}$  と比較的大きいのに対し、容量が小さいため、低入力インピーダンスのプリアンプとの組み合わせが可能となり、優れた高周波応答特性を実現できる。また、光軸調芯がしやすく、 $2.5\text{Gb/s}$  以上の高速用途で安価・製造歩留りの高いモジュールである。

【 実施例 2 】

【 0 0 2 5 】

実施例 1 では、表面受光型 A P D 素子を説明した。実施例 2 では、図 3 を用いて、裏面受光型 A P D 素子を説明する。ここで、図 3 は裏面入力型 A P D 素子の断面図である。なお、実施例 2 は実施例 1 の構造と概ね同じなので、実質同一箇所には同じ参照番号を振り、説明は繰り返さない。

【 0 0 2 6 】

図 3 に示す裏面受光型 A P D 素子 1 1 0 ' おいて、図 1 の表面受光型 A P D 素子の受光部に設けた反射防止膜 1 1 9 ( S i N 膜 ) は、エッチングにより削除し、p 型オーミック電極 1 1 3 ' を全面に形成している。また、裏面受光型なので、ダイボンディング用裏面金属膜 1 1 7 の代わりに、反射防止膜 1 1 9 ' を設けている。

【 0 0 2 7 】

本実施例の裏面受光型 A P D 素子に抛れば、実施例 1 の A P D 素子と同等な効果を得ることができる。また、実施例 2 の裏面入力型 A P D 素子を利用した光受信モジュールも、実施例 1 の光受信モジュールと同様な効果を得ることができる。

【 実施例 3 】

【 0 0 2 8 】

以下実施例 3 を、図 4 および図 5 を用いて説明する。ここで、図 4 は表面入力型 p i n - P D 素子の断面図である。図 5 は、p i n - P D 素子を搭載した光受信モジュールのブロック図である。

【 0 0 2 9 】

図 4 において、p i n - P D 素子 4 0 0 は、I n P 基板 ( 半絶縁性 ) 4 0 1 上に、バッファ層 4 0 2 ( u n d o p e d I n P 層、 $0.2\mu\text{m}$  ) と、n 型コンタクト層 4 0 8 ( n 型 I n G a A s P 層、 $8E18\text{cm}^{-3}$ 、 $0.4\mu\text{m}$  ) と、光吸収層 4 0 5 ( n 型 I n G a A s 層、 $5E14\text{cm}^{-3}$ 、 $2.0\mu\text{m}$  ) と、キャップ層 4 0 6 ( p 型 I n G a A s P 層、 $1E18\text{cm}^{-3}$ 、 $0.2\mu\text{m}$  ) と、p 型コンタクト層 4 0 7 ( p 型 I n G a A s 層、 $1E19\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$  ) とを積層されて構成されている。この P D 素子 4 0 0 の p i n - P D 構造の主要活性領域は、3 段メサで形成されている。最も外側の第 1 メサ 4 3 1 は、n 型コンタクト層 4 0 8 と I n P 基板 4 0 1 間の段差である。第 1 メサ 4 3 1 は、磷酸系溶液でエッチングされた p 型コンタクト層 4 0 7 から I n P 基板 4 0 1 までの垂直部と、第 3 メサ 4 3 3 のエッチングで形成される水平部の組み合わせにより形成されている。

【 0 0 3 0 】

最も内側にある第 2 メサ 4 3 2 は、磷酸系溶液で p 型コンタクト層 4 0 7 から n 型コンタクト層 4 0 8 に達するまでのエッチングにより形成されている。第 2 のメサ 4 3 2 の周囲を 4 1 0 の I n P 再成長層 ( 高抵抗、 $2\mu\text{m}$  ) により埋め込み、さらにその外側を、磷酸系のエッチング溶液により、I n P 再成長層 4 1 0 から n 型コンタクト層 4 0 8 に達するまでエッチングすることにより、第 3 メサ 4 3 3 を形成している。

【 0 0 3 1 】

ここで、半導体層の上には誘電体膜 ( 保護膜 ) として S i N 膜 4 1 1 ( $0.16\mu\text{m}$  ) と S i O 2 膜 4 1 2 ( $0.5\mu\text{m}$  ) を用いた。p 型オーミック電極 4 1 3 ( T i / P t / A u、 $0.7\mu\text{m}$  ) はコンタクト層 4 0 6 と接触させ、S i N 膜 4 1 1 と S i O 2 膜 4 1 2 および I n P 再成長層 4 1 0 上にその配線部 4 1 4 ( 幅  $5\mu\text{m}$ 、長さ  $100\mu\text{m}$  ) と電極パッド 4 1 5 ( $90\mu\text{m}$  ) を配置し、寄生容量を低減し、断線の生じない構造とした。また、n

型オーミック電極 416 (AuGe/Ni/Ti/Pt/Au、厚さ  $0.8\ \mu\text{m}$ ) を n 型コンタクト層 408 とを接触させ、配線 414 が、誘電体膜と半絶縁性の InP 基板 401 の上に、電極パッド 415 が誘電体膜と InP 再成長層 410 の上になるよう表面側に形成している。素子の活性領域の配置されていない InP 基板 401 の裏面側は  $300\ \mu\text{m}$  まで研磨した後にダイボンディング用裏面金属膜 417 (AuGe/Ni/Ti/Pt/Au、厚さ  $0.8\ \mu\text{m}$ ) を配置した。反射防止膜 419 は、誘電体層の一部として形成した SiN 膜 ( $0.16\ \mu\text{m}$ ) である。

#### 【0032】

受光径が  $30\ \mu\text{m}$  である素子の特性を逆バイアス電圧を印加して評価したところ、暗電流は  $1.5\ \text{V}$  で  $1\ \text{nA}$  と良好であり、かつ、ウエハ全体の容量分布の中間値が  $0.15\ \text{pF}$  と十分に寄生容量が低減されていた。また、配線部の断線を含むオープン不良は、 $1\%$  未満と良好であった。

#### 【0033】

上記の例では、pin-PD の構造として 3 段メサ構造をとったが、エッチングと結晶再成長の順序、組み合わせにより別のメサ構造をとることも可能であるし、また、吸収材料として InGaAs を用いたが、別の材料系を用いた場合についても効果は同様である。

#### 【0034】

実施例 3 の pin-PD の構造で、p 型電極の配線と電極パッドの下に誘電体膜のみ用いて InP 再成長層を用いない場合 (図示しない比較例 2)、配線部の断線を含むオープン不良が、 $20\%$  と高い比率であるとともに、断線が見られず評価可能な素子についても、ウエハ全体の容量分布の中間値が  $0.3\ \text{pF}$  と寄生容量が低減されず、 $10\ \text{Gb/s}$  以上の高速用途のモジュールに用いる場合、帯域不良による不良率が高いという結果が得られた。

#### 【0035】

発明者等は、実施例 3 と比較例 2 との間の不良率の違い、容量の違いは、誘電体層の合計膜厚、メサ型の活性領域の頂部と底部の段差、再成長半導体層厚さに起因すると考えている。そして、それらの境界値は、誘電体膜全体の厚さが  $0.4\ \mu\text{m}$  以上、再成長半導体層を除くメサ型の活性領域の頂部と底部の段差が  $2\ \mu\text{m}$  以上、再成長半導体層厚さが  $0.6\ \mu\text{m}$  以上のうちいずれかが超えるとき、顕著な差として現れる。

#### 【0036】

本実施例に拠れば、円形の主要構造のエッチング時に現れる面方位を持ったメサ部も再成長層で被覆されるため、この部位での寄生容量を低減できる。また、全ての配線引き出し方向に対して断線の危険性も回避することが出来る。

#### 【0037】

図 5 に示す光受信モジュール 600 は、pin-PD 400 とリミットアンプ付 TIA 630 とで構成される。また、リミットアンプ付 TIA 630 はプリアンプ 631 と帰還抵抗 632 とリミットアンプ 633 とから構成される。光受信モジュールは矢印で示した光信号を受信し、リミットアンプ付 TIA 630 の正相出力である OUT1 端子 633 と、逆相出力である OUT2 端子 634 とから、電気信号として、出力される。

#### 【0038】

この光受信モジュール 600 は、pin-PD 400 の受光径が  $30\ \mu\text{m}$  と比較的大きいのに対し、容量が小さいため、低入力インピーダンスのプリアンプとの組み合わせが可能となり、優れた高周波応答特性を実現できる。また、光軸調芯がしやすく、 $10\ \text{Gb/s}$  以上の高速用途で安価・製造歩留りの高いモジュールである。

#### 【実施例 4】

#### 【0039】

実施例 3 では、表面受光型 pin-PD 素子を説明した。実施例 4 では、図 6 を用いて、裏面受光型 pin-PD 素子を説明する。ここで、図 6 は裏面入力型 pin-PD 素子の断面図である。なお、実施例 4 は実施例 3 の構造と概ね同じなので、実質同一箇所には同

10

20

30

40

50

じ参照番号を振り、説明は繰り返さない。

【0040】

図5において、図4の表面受光型pin-PD素子の受光部に設けた反射防止膜419 (SiN膜、厚さ0.2 μm)は、エッチングにより削除し、p型オーミック電極413'を全面に形成している。また、裏面受光型なので、ダイボンディング用裏面金属膜417の代わりに、反射防止膜419' (厚さ0.2 μm)を設けている。

【0041】

本実施例の裏面受光型pin-PD素子に抛れば、実施例3のpin-PD素子と同等な効果を得ることができる。また、本実施例のpin-PD素子を利用した光受信モジュールは、実施例3の光受信モジュールと同様な効果を得ることができる。

10

【実施例5】

【0042】

図7および図8を参照して、実施例5を説明する。ここで、図7は、表面出力型面発光レーザ素子の断面図である。また、図8は面発光レーザ素子を実装した光送信モジュールのブロック図である。

【0043】

図7において、表面出力型面発光レーザ素子700は、InP基板701 (n型、1E18 cm<sup>-3</sup>)上に、パフファ層702 (n型InP層、1E18 cm<sup>-3</sup>、0.2 μm)と、半導体反射ミラー751 (n型InAlAs/InGaAlAs層、1E18 cm<sup>-3</sup>、各々 1/4膜厚の42周期構造)と、下側コンタクト層752 (n型InP層、5E17 cm<sup>-3</sup>、0.2 μm)と、クラッド層753 (n型InAlAs層、5E17 cm<sup>-3</sup>、0.2 μm)と、MQW層754 (InGaAlAsのwell/barrier:7周期、厚さ0.2 μm)と、クラッド層755 (p型InAlAs層、5E17 cm<sup>-3</sup>、0.7 μm)と、トンネル接合層756 (p+InGaAlAs/n+InGaAs層、3E19 cm<sup>-3</sup>、20 nm/12 nm、ここで"/"は下層/上層)を、MOCVDで積層形成した構造を有する。

20

【0044】

電流狭窄領域を形成するために、トンネル接合層756の電流狭窄領域以外の部分について、上層のn+InGaAs層758全部と、下層のp+InGaAlAs層757の一部をドライエッチングにより除去し、その上に760のn-InP再成長層760 (n型、厚さ0.1 μm)および761の上側コンタクト層761 (n型InGaAs層、2E19 cm<sup>-3</sup>、0.1 μm)の成長を行う。なお、n-InP層760については、電流狭窄領域以外でのトンネル接合形成を避けるために、成長開始～厚さ10 nmでの不純物濃度を5E17 cm<sup>-3</sup>と下げて、それ以降厚さ0.1 μmまでの不純物濃度を5E18 cm<sup>-3</sup>と設定した。また、吸収損失を避けるために電流狭窄領域の直上およびその周囲について、上側コンタクト層761 (InGaAs層)をウエットエッチングにより選択的にエッチング除去し、その上に誘電体多層膜ミラー762 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/a-Si、各々 1/4膜厚の4周期構造)を形成する。

30

【0045】

リング状の電極開口763の外側については、リーク電流と容量低減のために2段メサ型構造とし、磷酸系のエッチング溶液により、InGaAs上側コンタクト層761から、クラッド層753に達するまでエッチングを行うことで、第1メサ731を形成する。第1メサ731の周囲を高抵抗InP再成長層770 (厚み0.6 μm)で埋め込み、さらにその外側を高抵抗InP再成長層770から、InPの下側コンタクト層752に達するまでエッチングして、第2メサ732を形成する。

40

【0046】

ここで、半導体層の上には、誘電体多層膜ミラー762が形成されている領域と電極が半導体にコンタクトしている領域以外には、保護膜としてSiN膜711 (0.25 μm)が形成されている。上側オーミック電極771 (AuGe/Ni/TiPt/Au、厚さ0.7 μm)は、上側コンタクト層761とリング電極763にて半導体と接触させている。

50



SiN膜711とInP再成長層770上に配線部714(幅 $5\mu\text{m}$ 、長さ $100\mu\text{m}$ )と電極パッド715( $75\mu\text{m}$ )を配置し、寄生容量を低減し、断線の生じない構造とした。

【0047】

また、下側オーミック電極772(AuGe/Ni/Ti/Pt/Au、厚さ $0.7\mu\text{m}$ )も、上側オーミック電極771と同時に表面側に形成した。素子の活性領域の配置されていないInP基板701の裏面側は $100\mu\text{m}$ まで研磨した後にダイボンディング用裏面金属膜717(AuGe/Ni/Ti/Pt/Au、厚さ $0.8\mu\text{m}$ )を形成する。

【0048】

図7の表面出力型面発光レーザ素子700は、トンネル接合層756によって、電流をMQW層754の狭い領域に注入して発光させ、この光を下部の半導体反射ミラー751と上部の誘電体多層膜ミラー762との間で共振させ、発光波長 $1.55\mu\text{m}$ のレーザ光を誘電体多層膜ミラー762から出射させる。

【0049】

上述した表面出力型面発光レーザ素子700は、出射窓が $15\mu\text{m}$ の面発光レーザ素子について発光波長は $1.55\mu\text{m}$ 、閾値は $2\text{mA}$ 、スロープ効率 $50\%$ と良好であり、かつ、ウエハ全体の容量分布の中間値が $0.23\text{pF}$ と十分に寄生容量が低減されていた。また、配線部の断線を含むオープン不良は、 $1\%$ 未満と良好であった。

【0050】

上記の例では、表面出力型面発光レーザの構造として2段メサ構造をとったが、エッチングと結晶再成長の順序、組み合わせにより、例えば第一メサを755のトンネル接合層の途中の758の $p+\text{InGaAlAs}$ 層までとするような別のメサ構造をとることも可能であるし、また、活性層材料としてInGaAlAsのMQW構造を用いたが、別の材料系を用いた場合についても効果は同様である。

【0051】

表面出力型面発光レーザ素子で、電極の配線と電極パッドの下に誘電体膜のみ用いてInP再成長層を用いない場合(図示しない比較例3)、配線部の断線を含むオープン不良が、 $30\%$ と高い比率であった。また、断線が見られず評価可能な素子についても、ウエハ全体の容量分布の中間値が $1.1\text{pF}$ と寄生容量が大きかった。この結果、 $2.5\text{Gbit/s}$ 以上の高速用途のモジュールに用いる場合、帯域不良による不良率が高いという結果が得られた。

【0052】

発明者等は、実施例5と比較例3の間の不良率の違い、容量の違いは、誘電体層の合計膜厚、メサ型の活性領域の頂部と底部の段差、再成長半導体層厚さに起因すると考えている。そして、それらの境界値は、誘電体膜全体の厚さが $0.4\mu\text{m}$ 以上、再成長半導体層を除くメサ型の活性領域の頂部と底部の段差が $2\mu\text{m}$ 以上、再成長半導体層厚さが $0.6\mu\text{m}$ 以上のうちいずれかが一つを超えるとき、顕著な差として現れる。

【0053】

本実施例に拠れば、円形の主要構造のエッチング時に現れる面方位を持ったメサ部も再成長層で被覆されるため、この部位での寄生容量を低減できる。また、全ての配線引き出し方向に対して断線の危険性も回避することが出来る。

【0054】

図8に示す光送信モジュール900は、レーザモジュール910と、容量カップリング用の容量素子920を介してレーザモジュール910に駆動電流を供給するドライバ回路930とから構成されている。ドライバ回路903には、IN1端子940から正相電気信号、IN2端子950から逆相電気信号が供給される。また、レーザモジュール910は、面発光レーザ素子700と、面発光レーザ素子700の温度モニタ用サーミスタと、面発光レーザ素子700のカソード側に接続された抵抗素子911とから構成されている。ここで、抵抗素子911は $50(\text{ohm})$ のマッチング用である。また、ドライバ回路903からの駆動電流は、面発光レーザ素子700のアノードに供給されている。本実施

例の面発光レーザ素子 700 は、出射窓径が  $15\ \mu\text{m}$  と比較的大きな出射窓径であるのに対し、容量が小さい。このため、高周波応答特性に優れ、光軸調芯がしやすく、 $2.5\ \text{Gb/s}$  以上の高速用途で安価・製造歩留りの高い光モジュールの製造が可能となった。

#### 【実施例 6】

##### 【0055】

実施例 5 では、表面出力型面発光レーザ素子を説明した。実施例 7 では、図 9 を用いて、裏面出力型面発光レーザ素子を説明する。ここで、図 9 は、裏面出力型面発光レーザ素子の断面図である。なお、実施例 6 は実施例 5 の構造と概ね同じなので、実質同一箇所には同じ参照番号を振り、説明は繰り返さない。

10

##### 【0056】

図において、下側の半導体反射ミラー 751' は、 $n$  型  $\text{InAlAs}/\text{InGaAlAs}$  層、 $1.8\ \text{cm}^{-3}$ 、各々  $1/4$  膜厚の 3 周期構造を有する。また、上側の誘電体多層膜ミラー 762' は、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{a-Si}$ 、各々  $1/4$  膜厚の 8 周期構造を有する。この結果、発振波長  $1.55\ \mu\text{m}$  のレーザ光は半導体多層膜ミラー 751' から出射される。なお、 $\text{InP}$  基板 701、バッファ層 702 は、発振波長に対して透明である。

##### 【0057】

また、上側オーミック電極 771 は、誘電体多層膜ミラー 762' を被覆する構造とした。さらに、 $\text{InP}$  基板 701 の裏面には、反射防止用の  $\text{SiN}$  膜 719 ( $0.16\ \mu\text{m}$ ) を設けた。この  $\text{SiN}$  膜 719 は、比較的反射の大きい  $\text{InP}$  と空気の界面による反射によって裏面出力型面発光素子の内部に別の共振器を形成しないために設けたものである。

20

##### 【0058】

本実施例の裏面出力型面発光レーザ素子に抛れば、実施例 5 の表面出力型面発光レーザ素子と同等な効果を得ることができる。また、本実施例の  $\text{pin-PD}$  素子を利用した光送信モジュールは、実施例 5 の光送信モジュールと同様な効果を得ることができる。

##### 【0059】

なお、本明細書において、光素子は発光素子と受光素子とを含み、これらに限られない。また、光モジュールは光送信モジュールと光受信モジュールとを含み、これらに限られない。

30

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0060】

【図 1】表面入力型  $\text{APD}$  (Avalanche Photo Diode) 素子の断面図である。

【図 2】 $\text{APD}$  素子を搭載した光受信モジュールのブロック図である。

【図 3】裏面入力型  $\text{APD}$  素子の断面図である。

【図 4】表面入力型  $\text{pin-PD}$  素子の断面図である。

【図 5】 $\text{pin-PD}$  素子を実装したモジュールのブロック図を示す。

【図 6】裏面入力型  $\text{pin-PD}$  素子の断面図である。

【図 7】表面出力型面発光レーザ素子の断面図である。

【図 8】面発光レーザ素子を実装した光送信モジュールのブロック図である。

40

【図 9】裏面出力型面発光レーザ素子の断面図である。

#### 【符号の説明】

##### 【0061】

100 ...  $\text{APD}$  素子、101 ...  $\text{InP}$  基板、102 ... バッファ層、103 ... 増倍層、104 ... 電界調整層、105 ... 光吸収層、106 ... キャップ層、107 ...  $p$  型コンタクト層、110 ...  $\text{InP}$  再成長層、111 ...  $\text{SiN}$  膜、112 ...  $\text{SiO}_2$  膜、113  $p$  型オーミック電極、114 ... 配線部、115 ... 電極パッド、116 ...  $n$  型オーミック電極、117 ... ダイボンディング用裏面金属膜、119 ... 反射防止膜、131 ... 第 1 メサ、132 ... 第 2 メサ、300 ... 光受信モジュール、310 ...  $\text{OUT1}$ 、320 ...  $\text{OUT2}$ 、330 ... リミットアンプ付  $\text{TIA}$ 、400 ...  $\text{pin-PD}$  素子、401 ...  $\text{InP}$  基板、402 ... バッ

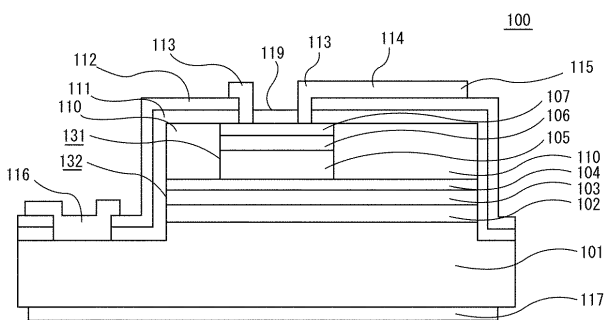
50

ファ層、405...光吸収層、406...キャップ層、407...p型コンタクト層、408...n型コンタクト層、410...InP再成長層、411...SiN膜、412...SiO<sub>2</sub>膜、413...p型オーミック電極、414...配線部、415...電極パッド、416...n型オーミック電極、417...ダイボンディング用裏面金属膜、419...反射防止膜、431...第1メサ、432...第2メサ、433...第3メサ、600...光受信モジュール、610...OUT1端子、620...OUT2端子、630...リミットアンプ付TIA、700...面発光レーザ素子、701...InP基板、702...バッファ層、711...SiN膜、714...配線部、715...電極パッド、717...ダイボンディング用裏面金属膜、719...反射防止膜、731...第1メサ、732...第2メサ、751......半導体反射ミラー、752...下側コンタクト層、753...n型クラッド層、754...MQW層、755...p型クラッド層、756...トンネル接合層、757...p+InGaAlAs層、758...n+InGaAs層、759...電流狭窄領域、760...n-InP再成長層、761...上側コンタクト層、762...誘電体多層膜ミラー、763...電極開口、770...高抵抗InP再成長層、771...上側オーミック電極、772...下側オーミック電極、900...光送信モジュール、910...レーザモジュール、911...抵抗素子、912...サーミスタ、920...容量素子、930...ドライバ回路、940...IN1端子、950...IN2端子。

10

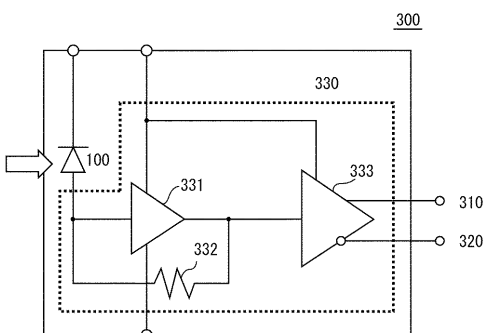
【図1】

図1



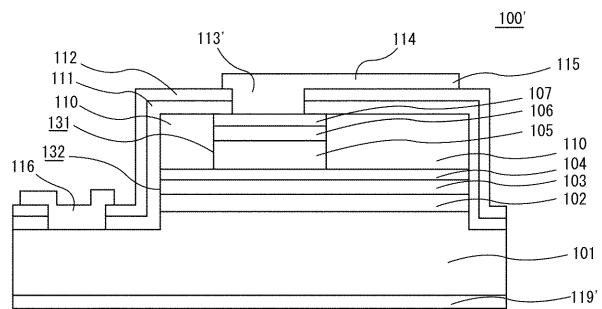
【図2】

図2



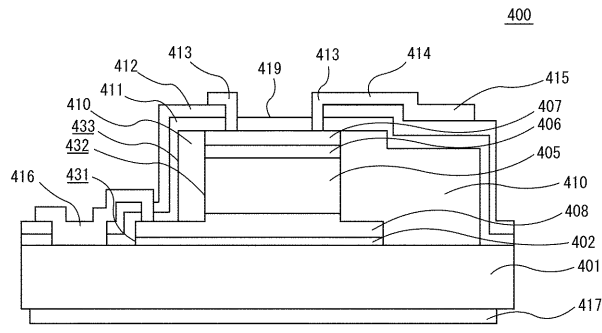
【図3】

図3



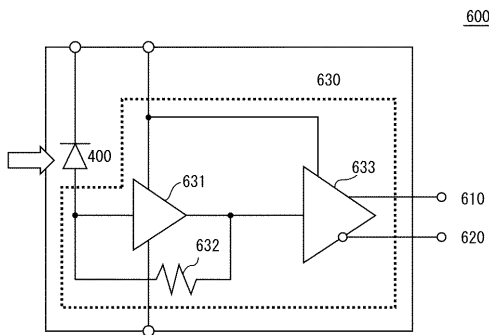
【図4】

図4



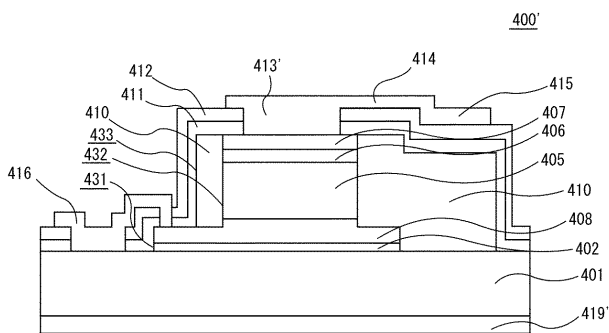
【図 5】

図 5



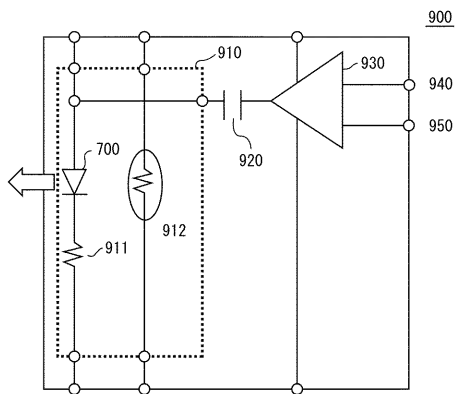
【図 6】

図 6



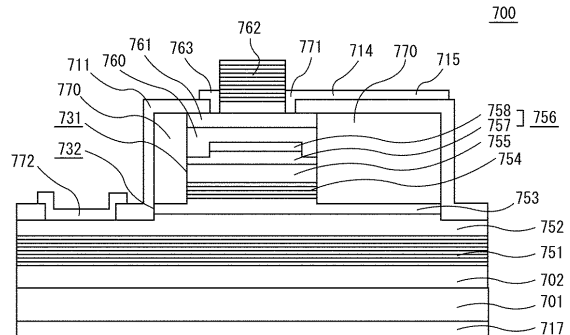
【図 8】

図 8



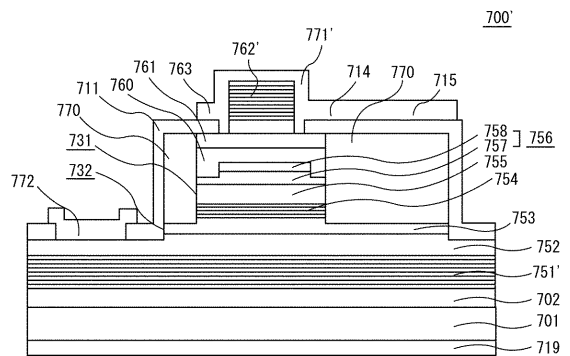
【図 7】

図 7



【図 9】

図 9



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 5/02

F ターム(参考) 5F049 MA04 MA08 MB07 NA15 NA20 NB01 QA02 QA06 QA15 SE09  
SE15 SS04 SZ03 TA06 UA13  
5F088 AA03 AA05 AB07 BA16 BA20 BB01 DA01 DA17 FA09 GA03  
HA03 KA02  
5F173 AC03 AC14 AC35 AC52 AC53 AF98 AF99 AK21 AP16 AP32  
AP33 AR61 AR65 AR99 MA02 MC18 MD59 SJ16 SJ20