

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-89587
(P2024-89587A)

(43)公開日 令和6年7月3日(2024.7.3)

(51)国際特許分類
H 0 1 L 31/10 (2006.01)

F I
H 0 1 L 31/10
H 0 1 L 31/10

テーマコード (参考)
5 F 1 4 9
5 F 8 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全17頁)			
(21)出願番号 特願2023-17340(P2023-17340)	(71)出願人 515288122	最終頁に続く	
(22)出願日 令和5年2月8日(2023.2.8)	ルーメンタム オペレーションズ エルエルシー		
(31)優先権主張番号 特願2022-204354(P2022-204354)	Lumentum Operations LLC		
(32)優先日 令和4年12月21日(2022.12.21)	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サンノゼ リッター パーク ドライブ 1 0 0 1		
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	(74)代理人 110000154 弁理士法人はるか国際特許事務所		
	(72)発明者 豊中 隆司 神奈川県相模原市中央区小山四丁目 1 番 5 5 号 日本ルメンタム株式会社内		
	(72)発明者 濱田 博 神奈川県相模原市中央区小山四丁目 1 番		

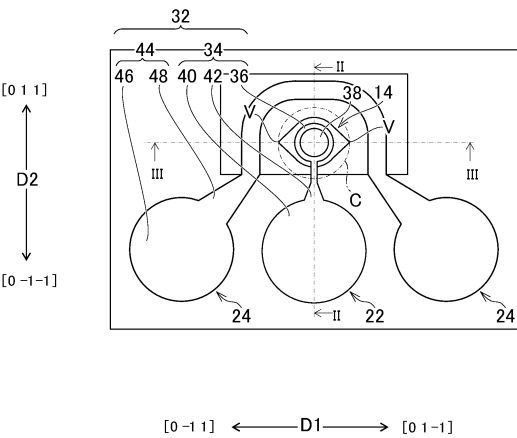
(54)【発明の名称】 半導体受光素子

(57)【要約】

【課題】絶縁膜の被覆性の確保を目的とする。

【解決手段】半導体受光素子は、基板10と、基板10の上であって、上層および下層を含む複数層からなり、上層は光の吸収層16であり、下層は光を吸収しない程度にバンドギャップが広いワイドバンドギャップ層18であるメサ構造14と、メサ構造14の側面を覆う絶縁膜26と、を備え、複数層のそれぞれは、III-V族半導体の単結晶からなり、(100)面を上面とし、ワイドバンドギャップ層18の上層は、[0-11]方向および[01-1]方向の一対の頂点Vを、最小包括円Cの円周上を含む形状である。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

前記基板の上であって、上層および下層を含む複数層からなり、前記上層は光の吸収層であり、前記下層は前記光を吸収しない程度にバンドギャップが広いワイドバンドギャップ層であるメサ構造と、

前記メサ構造の側面を覆う絶縁膜と、

を備え、

前記複数層のそれぞれは、ⅢⅤ族半導体の単結晶からなり、(100)面を上面とし、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、[011]方向および[01-1]方向の一对の頂点を、最小包括円の円周上に含む形状である半導体受光素子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記一对の頂点のそれぞれの角度は、135度以下である半導体受光素子。

【請求項 3】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、[011]方向および[0-1-1]方向の一对の先端を、前記最小包括円の内側に含む形状である半導体受光素子。

【請求項 4】

請求項 3 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、[011]方向および[0-1-1]方向にそれぞれ凸の一对の円弧を含む形状である半導体受光素子。

【請求項 5】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、[011]方向および[0-1-1]方向の一对の頂点を、前記最小包括円の前記円周上に含む形状である半導体受光素子。

【請求項 6】

請求項 5 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、多角形である半導体受光素子。

【請求項 7】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層よりも上の層の前記上面は、[011]方向および[01-1]方向の一对の頂点を、最小包括円の円周上に含む形状である半導体受光素子。

【請求項 8】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、外形において、前記吸収層の下面に一致している半導体受光素子。

【請求項 9】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層よりも上の層の前記上面は、円形である半導体受光素子。

【請求項 10】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、前記吸収層から突出している半導体受光素子。

【請求項 11】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、

電極パターンをさらに有し、

前記電極パターンは、前記メサ構造の上面にあるメサ電極を含む半導体受光素子。

【請求項 12】

請求項 1 1 に記載された半導体受光素子であって、
前記電極パターンは、前記メサ電極に接続された接続電極をさらに含み、
前記接続電極は、 $[0\ 1\ 1]$ 方向または $[0\ -1\ -1]$ 方向に延びている半導体受光素子。

【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載された半導体受光素子であって、
前記メサ電極は、平面視で開口を有する半導体受光素子。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載された半導体受光素子であって、
前記開口は、信号光が入射可能な形状である半導体受光素子。

10

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載された半導体受光素子であって、
前記開口は、円形である半導体受光素子。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載された半導体受光素子であって、
前記メサ電極は、平面視でリング状である半導体受光素子。

【請求項 1 7】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、
前記基板は、前記メサ構造とは反対側から信号光が入射可能な形状である半導体受光素子。

20

【請求項 1 8】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、
前記ワイドバンドギャップ層は前記吸収層より厚い半導体受光素子。

【請求項 1 9】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、
前記ワイドバンドギャップ層は、 InAlGaAs 、 InAlAs および InP のいずれかからなる半導体受光素子。

【請求項 2 0】

請求項 1 に記載された半導体受光素子であって、
前記吸収層は、 InGaAs からなる半導体受光素子。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体受光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信における伝送速度が増加しており、光モジュールの高速応答性が要求されている。高速応答性に優れた半導体受光素子は、円錐台形状のメサ構造を備えている（特許文献 1）。メサ構造は、積層された複数の半導体層からなり、絶縁膜で覆われる（特許文献 2）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】 特開 2019-075479 号公報

【特許文献 2】 特開 2022-114411 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

メサ構造は、形成プロセスで結晶異方性エッチングを適用すると、逆円錐台形状になることがあり、そうすると側面が逆テーパ面であるため、絶縁膜の被覆性が低下し、信頼性

50

および特性の低下につながるおそれがある。

【0005】

本発明は、絶縁膜の被覆性の確保を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

半導体受光素子は、基板と、前記基板の上であって、上層および下層を含む複数層からなり、前記上層は光の吸収層であり、前記下層は前記光を吸収しない程度にバンドギャップが広いワイドバンドギャップ層であるメサ構造と、前記メサ構造の側面を覆う絶縁膜と、を備え、前記複数層のそれぞれは、III-V族半導体の単結晶からなり、(100)面を上面とし、前記ワイドバンドギャップ層の前記上面は、[0-11]方向および[01-1]方向の一对の頂点を、最小包括円の円周上に含む形状である。

10

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。

【図2】図1の半導体受光素子のII-II線拡大断面図である。

【図3】図1の半導体受光素子のIII-III線拡大断面図である。

【図4】第1の実施形態の変形例に係る半導体受光素子の平面図である。

【図5】第2の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。

【図6】図5の半導体受光素子のVI-VI線拡大断面図である。

【図7】図5の半導体受光素子のVII-VII線拡大断面図である。

20

【図8】第2の実施形態の変形例に係る半導体受光素子の平面図である。

【図9】第3の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。

【図10】図9の半導体受光素子のX-X線拡大断面図である。

【図11】図9の半導体受光素子のXI-XI線拡大断面図である。

【図12】第4の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。

【図13】図12の半導体受光素子のXIII-XIII線拡大断面図である。

【図14】図2の半導体受光素子のXIV-XIV線拡大断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態を具体的かつ詳細に説明する。全図において同一の符号を付した部材は同一又は同等の機能を有するものであり、その繰り返しの説明を省略する。なお、図形の大きさは倍率に必ずしも一致するものではない。

30

【0009】

【第1の実施形態】

図1は、第1の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。図2は、図1の半導体受光素子のII-II線拡大断面図である。図3は、図1の半導体受光素子のIII-III線拡大断面図である。

【0010】

半導体受光素子は、光通信等で使われる波長帯に対応している。半導体受光素子は、表から信号光が入射される表面入射型半導体受光素子であり、例えば、p型半導体層とn型半導体層の間に真性半導体(Intrinsic Semiconductor)層を挿入した構造のPIN型の受光素子であるが、アバランシェフォトダイオード(APD: Avalanche Photodiode)であってもよい。

40

【0011】

【基板】

半導体受光素子は、基板10を有する。基板10は、III-V族半導体(例えばFeがドーパされたInP)の単結晶からなり、ミラー指数で表される(100)面を上面としている。基板10に第1コンタクト層12が設けられている。第1コンタクト層12は、第1導電型(例えばn型)の半導体層である。

【0012】

50

【メサ構造】

半導体受光素子は、基板 10 の上にメサ構造 14 を有する。メサ構造 14 の上面から信号光が入射されるようになっている。メサ構造 14 は、基板 10 の上（詳しくは第 1 コンタクト層 12 の上）に配置されている。メサ構造 14 は、第 1 コンタクト層 12 と接触して電氣的に接続している。

【0013】

メサ構造 14 は、複数層からなる。複数層のそれぞれは、III-V 族半導体の単結晶からなり、(100) 面を上面としている。複数層は、上層および下層を含む。上層は、最上層ではないが、最上層であってもよい。

【0014】

【上層】

メサ構造 14 の上層は、光の吸収層 16 である。吸収層 16 は、InGaAs からなる。メサ構造 14 に入光した光は、吸収層 16 に入射し、吸収され、電気に変換される。吸収層 16 は、信号光を電気信号に変換するようになっている。吸収層 16 は、真性半導体層または導電型の半導体層のいずれであってもよいし、両者の組み合わせであっても構わない。真性半導体は、まったく極性を持たない半導体だけではなく、極性を与えるために意図的に添加物を含ませていない半導体であってもよく、つまり、バックグラウンドレベルで微量な添加物が含まれている半導体でもよい。

【0015】

吸収層 16 の上面は、[0-11] 方向および [01-1] 方向（第 1 方向 D1 に沿って相互に反対）の一对の頂点 V を、最小包括円 C の円周上に含む形状である。一对の頂点 V のそれぞれの角度は、135 度以下である。頂点 V は、二直線の先端が接する点のみならず、二曲線が接する点を含む。

【0016】

吸収層 16 の上面は、[011] 方向および [0-1-1] 方向（第 1 方向 D1 に直交する第 2 方向 D2 に沿って相互に反対）の一对の先端を、最小包括円 C の内側に含む形状である。吸収層 16 の上面は、[011] 方向および [0-1-1] 方向（第 2 方向 D2）にそれぞれ凸の一对の円弧を含む形状である。

【0017】

【下層】

メサ構造 14 の下層は、ワイドバンドギャップ層 18 であり、光を吸収しない程度にバンドギャップが広い。ワイドバンドギャップ層 18 は、吸収層 16 よりバンドギャップが広く、吸収層 16 を透過してきた光（つまり入光した光）を吸収しない。ワイドバンドギャップ層 18 は、真性半導体であり、InAlGaAs、InAlAs および InP のいずれかからなる。

【0018】

ワイドバンドギャップ層 18 は吸収層 16 より厚い。ワイドバンドギャップ層 18 および吸収層 16 は、電圧が印加されると空乏化して、空乏層を形成する。ワイドバンドギャップ層 18 があることで、空乏層の厚みを厚くすることができ、これにより、寄生容量を小さくして高速動作に対応することができる。

【0019】

ワイドバンドギャップ層 18 の上面は、[0-11] 方向および [01-1] 方向（第 1 方向 D1）の一对の頂点 V を、最小包括円 C の円周上に含む形状である。一对の頂点 V のそれぞれの角度は、135 度以下である。

【0020】

メサ構造 14 の形成プロセスでは、半導体層を結晶成長し、マスクを介してエッチングする。エッチングには結晶方位依存性があるので、結晶面が現れ、第 1 方向 D1 の側面が逆テーパ面となる。マスクの平面形状が円形であると、第 1 方向 D1 からわずかにずれた方向でも側面が逆テーパ面となり、逆テーパ面が広がる。

【0021】

10

20

30

40

50

本実施形態では、平面形状が第1方向D1に頂点Vを有するので、第1方向D1から少しずれた側面も、順テーパ面または垂直面となる。その影響もあり、第1方向D1の側面は、逆テーパ面とならず垂直形状または順テーパ面となる。頂点Vが二曲線の交点であるとしても、第1方向D1の側面が小さいので逆テーパ面は現れない。

【0022】

ワイドバンドギャップ層18の上面は、[011]方向および[0-1-1]方向（第2方向D2）の一对の先端を、最小包括円Cの内側に含む形状である。半導体受光素子の容量は空乏化する層の面積に比例するので、平面視でメサ構造14の面積を小さくして、寄生容量の増加を抑制し、高速動作への対応が可能となる。

【0023】

ワイドバンドギャップ層18の上面は、[011]方向および[0-1-1]方向（第2方向D2）にそれぞれ凸の一对の円弧を含む形状である。ワイドバンドギャップ層18の上面は、外形において、吸収層16の下面に一致している。

【0024】

[最上層]

複数層の最上層は、第2コンタクト層20であり、入射した光を吸収しない程度にバンドギャップが広く、第2導電型（例えばp型）の半導体層（例えばInGaAs層）である。

【0025】

第2コンタクト層20の上面は、[0-11]方向および[01-1]方向（第1方向D1）の一对の頂点Vを、最小包括円Cの円周上に含む形状である。一对の頂点Vのそれぞれの角度は、135度以下である。

【0026】

第2コンタクト層20の上面は、[011]方向および[0-1-1]方向（第2方向D2）の一对の先端を、最小包括円Cの内側に含む形状である。第2コンタクト層20の上面は、[011]方向および[0-1-1]方向（第2方向D2）にそれぞれ凸の一对の円弧を含む形状である。第2コンタクト層20の下面は、外形において、吸収層16の上面に一致している。

【0027】

本実施形態では、メサ構造14に含まれる複数層は、最低限必要な要素のみで構成されているが、他の層が含まれていても構わない。例えば、複数層は、第1コンタクト層12とワイドバンドギャップ層18との間にエッチストップ層を含んでもよいし、吸収層16と第2コンタクト層20との間にInAlGaAsのキャップ層を含んでもよい。

【0028】

[凸構造]

基板10の上方には、第1凸構造22が設けられている。第1凸構造22は、複数層からなり、最下層が第1コンタクト層12と同層である点を除いてメサ構造14と同じ層構造である。ただし、平面形状は異なる。

【0029】

基板10の上方には、第2凸構造24が設けられている。第2凸構造24は、第1凸構造22と同じ層構造を有している。メサ構造14、第1凸構造22および第2凸構造24は、MBE（Molecular Beam Epitaxy）装置を用いて上述した層構造を成長させた後、リソグラフィ技術を用いてそれぞれを分離することにより形成することができる。

【0030】

[絶縁膜]

半導体受光素子は、メサ構造14の側面を覆う絶縁膜26を有する。絶縁膜26は、メサ構造14、第1凸構造22、第2凸構造24および基板10の露出する表面（例えば全体）を覆って保護している。絶縁膜26は、パッシベーション膜であり、酸化膜や窒化膜であり、例えば酸化シリコン膜や窒化シリコン膜である。絶縁膜26は、第1コンタクト層12の上面の一部には形成され、第1スルーホール28が形成される。絶縁膜26は、

10

20

30

40

50

メサ構造 14 の上面の一部には形成されず、これにより第 2 スルーホール 30 が形成される。

【0031】

絶縁膜 26（パッシベーション膜）によって、メサ構造 14 を構成する半導体の保護およびリーク電流の低減を図ることができる。本実施形態では、メサ構造 14 の側面が逆テーパ面ではないため、絶縁膜 26 の被覆性が良く、半導体受光素子の信頼性および特性が高い。

【0032】

[電極パターン]

半導体受光素子は、電極パターン 32 を有する。電極パターン 32 は、第 1 電極 34 を含む。第 1 電極 34 は、基板 10 の一方の面に配置されている。第 1 電極 34 の複数の部位は、一体的なものである。

10

【0033】

第 1 電極 34 は、メサ構造 14 の上面にあるメサ電極 36 を含む。メサ電極 36 の上面の外形は、円形であるが、メサ構造 14 の形状に沿った形状であっても構わない。絶縁膜 26 の第 2 スルーホール 30 で、メサ電極 36 と第 2 コンタクト層 20 とが接続される。メサ電極 36 は、第 2 コンタクト層 20 の上面に接触（物理的および電氣的に接続）する。メサ電極 36 は、平面視で開口 38 を有する。開口 38 は、信号光が入射可能な形状である。開口 38 は、円形である。メサ電極 36 は、平面視でリング状であるが、一部が繋がっていない C 形状であっても構わない。

20

【0034】

第 1 電極 34 は、第 1 外部電極 40（例えばパッド）を含む。第 1 外部電極 40 は、第 1 凸構造 22 の上面を覆うように配置され、図示しないワイヤがボンディングされるようになっており、外部（例えばトランスインピーダンスアンプ）との電氣的な接続が行われる。第 1 外部電極 40 は、絶縁膜 26 の上にある。

【0035】

第 1 電極 34 は、第 1 外部電極 40 およびメサ電極 36 を接続する第 1 接続電極 42 を含む。第 1 接続電極 42 の延長方向に直交する幅は、第 1 外部電極 40 およびメサ電極 36 のいずれの幅よりも狭い。第 1 接続電極 42 は、メサ電極 36 から、[011] 方向または [0-1-1] 方向（第 2 方向 D2）に延びている。この方向でメサ構造 14 の側面は順テーパ面であるため、第 1 接続電極 42 は断線しない。

30

【0036】

電極パターン 32 は、第 2 電極 44 を含む。第 2 電極 44 は、基板 10 の一方の面に配置されている。第 2 電極 44 の複数の部位は、一体的なものである。第 2 電極 44 は、一対の第 2 外部電極 46 を含む。第 1 外部電極 40 は、一対の第 2 外部電極 46 の間にある。第 2 外部電極 46 は、第 2 凸構造 24 の上面に配置される領域（例えばパッド）と、第 2 凸構造 24 の側面にある領域とを含む。第 2 電極 44 は、一対の第 2 外部電極 46 を接続する第 2 接続電極 48 を含む。第 2 接続電極 48 は、絶縁膜 26 の第 1 スルーホール 28 の内側で第 1 コンタクト層 12 に接触する。第 1 電極 34 と第 2 電極 44 との間に電圧を印加することで、メサ構造 14 に入光した光（光信号）が吸収され、電気信号が得られる。

40

【0037】

[第 1 の実施形態の変形例]

図 4 は、第 1 の実施形態の変形例に係る半導体受光素子の平面図である。ワイドバンドギャップ層 18 の上面は、[011] 方向および [0-1-1] 方向（第 2 方向 D2）の一対の頂点 V' を、最小包括円 C' の円周上に含む形状である。ワイドバンドギャップ層 18 の上面は、多角形（例えば正八角形）である。

【0038】

このように、上面は直線だけで組み合わされた形状であっても構わない。頂点 V' の角度（2 つの直線がなす角度） θ は 135 度以下が好ましい。この角度より大きくなると、

50

上面の形状は円形に近くなり、逆テーパ面が現れるおそれがある。

【0039】

ワイドバンドギャップ層18よりも上の層（最上層および吸収層16）の上面は、[0-11]方向および[01-1]方向（第1方向D1）の一对の頂点V'を、最小包括円C'の円周上に含む形状である。ワイドバンドギャップ層18の上面は、外形において、吸収層16の下面に一致している。

【0040】

[第2の実施形態]

図5は、第2の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。図6は、図5の半導体受光素子のVI-VI線拡大断面図である。図7は、図5の半導体受光素子のVII-VII線拡大断面図である。

10

【0041】

メサ構造214は、上部メサ構造250と下部メサ構造252を含む二段構造になっている。上部メサ構造250は、吸収層216と第2コンタクト層220を含む。下部メサ構造252は、ワイドバンドギャップ層218を含む。

【0042】

上部メサ構造250の上面は円形である。つまり、ワイドバンドギャップ層218よりも上の層（最上層および吸収層216）の上面は、円形である。そのため、上部メサ構造250の側面は、逆テーパ面を含む。ワイドバンドギャップ層218の上面は、吸収層216から突出している。

20

【0043】

半導体受光素子の容量は、空乏化する層の面積に比例し、入射光のビーム形状は一般的に円形である。したがって、受光効率を確保しつつ余計な容量を付加させないためには、空乏化する層の面積を円形にすればよい。空乏化する層は、吸収層216とワイドバンドギャップ層218であり、それぞれ、上部メサ構造250および下部メサ構造252に含まれる。

【0044】

しかし、上部メサ構造250および下部メサ構造252の両方の上面を円形にすると、両方の側面が逆テーパ面となるので、絶縁膜226の被覆性への影響が大きい。これを解決するのが第1の実施形態であるが、上面が入射光のビーム形状よりも大きくなって、容量の観点で不利となる。

30

【0045】

そこで、本実施形態では、下部メサ構造252の上面は、第1の実施形態ワイドバンドギャップ層218の上面と同じ形状を有する一方で、上部メサ構造250の上面は、容量の増加を抑えるために円形になっている。これにより、逆テーパ面は現れるが、下部メサ構造252の側面には逆テーパ面が現れず、絶縁膜226の被覆性が低下する可能性を低減できる。

【0046】

ワイドバンドギャップ層218は、容量の低減のために配置される層であり、他の層（例えば吸収層216）よりも厚くなる傾向がある。厚い層の側面が逆テーパ面になると、絶縁膜226の被覆性の低下が大きいので、ワイドバンドギャップ層218を含む下部メサ構造252の上面は、円形ではない形状とした。

40

【0047】

空乏層の厚さは、含まれる不純物濃度で制限され、不純物濃度が低いほど、空乏層の厚さは厚くなる。つまり、一定の不純物濃度が含まれている場合、どんなにその層を厚く形成したとしても、空乏層の厚さは実効的に制限される。

【0048】

不純物濃度は、InAlGaAsよりInPの方が低くできるため、InPで形成した層は、InAlGaAsで形成した層より、空乏層を実効的に厚くすることができる。したがって、InPでワイドバンドギャップ層218を厚く形成すれば、それに応じて空乏

50

化される領域を広くすることができる。厚いワイドバンドギャップ層 218 を形成すると、逆テーパ面が広くなることになり、絶縁膜 226 の被覆性が低下するが、本実施形態によれば、絶縁膜 226 の被覆性も確保することができる。その他の点には、第 1 の実施形態で説明した内容を適用可能である。

【0049】

〔第 2 の実施形態の変形例〕

図 8 は、第 2 の実施形態の変形例に係る半導体受光素子の平面図である。ワイドバンドギャップ層 218 の上面は、 $[011]$ 方向および $[0\bar{1}1]$ 方向（第 2 方向 D2）の一对の頂点 V' を、最小包括円 C' の円周上に含む形状である。ワイドバンドギャップ層 218 の上面は、多角形（例えば菱形または正八角形）である。

10

【0050】

その他の点は、第 2 の実施形態と同じである。ワイドバンドギャップ層 218 の上面は、 $[0\bar{1}1]$ 方向および $[01\bar{1}]$ 方向（第 1 方向 D1）の一对の頂点 V' を、最小包括円 C' の円周上に含む形状である。ワイドバンドギャップ層 218 よりも上の層（最上層および吸収層 216）の上面は、円形である。ワイドバンドギャップ層 218 の上面は、吸収層 216 から突出している。

【0051】

〔第 3 の実施形態〕

図 9 は、第 3 の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。図 10 は、図 9 の半導体受光素子の X-X 線拡大断面図である。図 11 は、図 9 の半導体受光素子の XI-XI 線拡大断面図である。

20

【0052】

メサ構造 314 は、上部メサ構造 350 と下部メサ構造 352 を含む二段構造になっている。ワイドバンドギャップ層 318 の上面は、吸収層 316 から突出している。上部メサ構造 350 の上面と下部メサ構造 352 の上面は、大きさは異なるが相似形である。あるいは、上部メサ構造 350 の上面が菱形で、下部メサ構造 352 の上面が八角形のように、両者が異なる形状であっても構わない。

【0053】

上部メサ構造 350 の上面は、円形状ではなく、第 1 方向 D1 に頂点 V を持つ構造である。詳しくは、ワイドバンドギャップ層 318 よりも上の層（最上層および吸収層 316）の上面は、 $[0\bar{1}1]$ 方向および $[01\bar{1}]$ 方向（第 1 方向 D1）の一对の頂点 $V1$ を、最小包括円 $C1$ の円周上に含む形状である。したがって、上部メサ構造 350 の側面には逆テーパ面が含まれないので、絶縁膜 326 の被覆性に優れる。

30

【0054】

その他の点には、第 1 の実施形態で説明した内容を適用可能である。ワイドバンドギャップ層 318 の上面は、 $[0\bar{1}1]$ 方向および $[01\bar{1}]$ 方向（第 1 方向 D1）の一对の頂点 $V2$ を、最小包括円 $C2$ の円周上に含む形状である。

【0055】

〔第 4 の実施形態〕

図 12 は、第 4 の実施形態に係る半導体受光素子の平面図である。図 13 は、図 12 の半導体受光素子の XIII-XIII 線拡大断面図である。図 14 は、図 2 の半導体受光素子の XIV-XIV 線拡大断面図である。

40

【0056】

基板 410 は、メサ構造 414 とは反対側から信号光が入射可能な形状である。基板 410 の裏面には、レンズ 454 が形成されている。レンズ 454 は、外部から入射する光を集光するようになっている。半導体受光素子は、裏から信号光が入射する裏面入射型の半導体受光素子である。その他の点には、第 1 の実施形態で説明した内容を適用可能である。

【0057】

基板 410 の上面に第 1 コンタクト層 412 が設けられている。第 1 コンタクト層 41

50

2は、第1導電型（例えばn型）の半導体層である。メサ構造414は、基板410の上面（詳しくは第1コンタクト層412の上）に配置されている。メサ構造414は、第1コンタクト層412と接触して電氣的に接続している。

【0058】

メサ構造414に入光した光は、吸収層416に入射し、吸収され、電気に変換される。吸収層416は、真性半導体層または導電型の半導体層のいずれであってもよいし、両者の組み合わせであっても構わない。ここでは、吸収層416はInGaAsで構成されている。

【0059】

ワイドバンドギャップ層418は、吸収層416よりバンドギャップが広く、入光した光を吸収しない程度にバンドギャップが広い半導体層である。ワイドバンドギャップ層418は、真性半導体からなり、それはInAlGaAsであるが、InPであってもよい。

10

【0060】

第2コンタクト層420は、InGaAs層であり、第2導電型（例えばp型）の半導体層である。ワイドバンドギャップ層418および吸収層416には、電圧印加時に空乏層ができる。ワイドバンドギャップ層418があることで空乏層が厚くなり、寄生容量が低下し、高速動作に対応できる。

【0061】

凸構造458は、メサ構造414と同じ層構造を有している。メサ構造414および凸構造458は、MBE（Molecular Beam Epitaxy）装置を用いて上述した層構造を成長させた後、リソグラフィ技術を用いてそれぞれを分離することにより形成することができる。

20

【0062】

絶縁膜426は、メサ構造414、凸構造458および第1コンタクト層412の露出する表面（例えば全体）を覆って保護している。絶縁膜426は、パッシベーション膜であり、酸化膜や窒化膜であり、例えば酸化シリコン膜や窒化シリコン膜である。絶縁膜426は、第1コンタクト層412の上面の一部に第1スルーホール428を有する。絶縁膜426は、メサ構造414の上面の一部に第2スルーホール430を有する。

【0063】

半導体受光素子は、外部電極456を有する。外部電極456は、凸構造458の上面および側面の一部を覆うように配置される。絶縁膜426の第1スルーホール428で外部電極456と第1コンタクト層412とが接続される。

30

【0064】

半導体受光素子は、メサ電極436を有する。メサ電極436は、メサ構造414の上面の一部に円形状に配置される。絶縁膜426の第2スルーホール430で、メサ電極436と第2コンタクト層420とが接続される。

【0065】

メサ構造414は、平面視で第1方向D1に頂点Vを持つ形状である。メサ構造414の平面は、[0-11]方向および[01-1]方向の一对の頂点Vを、最小包括円Cの円周上に含む形状である。メサ構造414は、第2方向D2には、頂点Vがなく、円弧形状になっている。

40

【0066】

本実施形態でも、メサ構造414の側面に逆テーパ面が形成されないので、メサ構造414の側面を覆う絶縁膜426の被覆性が向上し、その結果、信頼性の確保が可能となる。さらに、厚いワイドバンドギャップ層418を採用することができるために、高速動作への対応が可能となる。

【0067】

変形例として、ワイドバンドギャップ層418よりも上の層（最上層および吸収層416）の上面を円形にして、メサ構造414を二段構造にしてもよい。あるいは、ワイドバ

50

ンドギャップ層 418 の上面を、直線および円弧を組み合わせた形状にしてもよいし、八角形や菱形などの多角形にしてもよい。

【0068】

本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、実施形態を説明した構成は、実質的に同一の構成、同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成で置き換えることができる。

【0069】

〔実施形態の概要〕

(1) 基板 10 と、前記基板 10 の上であって、上層および下層を含む複数層からなり、前記上層は光の吸収層 16 であり、前記下層は前記光を吸収しない程度にバンドギャップが広いワイドバンドギャップ層 18 であるメサ構造 14 と、前記メサ構造 14 の側面を覆う絶縁膜 26 と、を備え、前記複数層のそれぞれは、III-V 族半導体の単結晶からなり、(100) 面を上面とし、前記ワイドバンドギャップ層 18 の前記上面は、[0-11] 方向および [01-1] 方向の一对の頂点 V を、最小包括円 C の円周上に含む形状である半導体受光素子。

10

【0070】

[0-11] 方向および [01-1] 方向には一对の頂点 V があることで、逆テーパ面が形成されにくいので、絶縁膜 26 の被覆性を確保することができる。

【0071】

(2) (1) に記載された半導体受光素子であって、前記一对の頂点 V のそれぞれの角度は、135 度以下である半導体受光素子。

20

【0072】

(3) (1) 又は (2) に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 の前記上面は、[011] 方向および [0-1-1] 方向の一对の先端を、前記最小包括円 C の内側に含む形状である半導体受光素子。

【0073】

(4) (3) に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 の前記上面は、[011] 方向および [0-1-1] 方向にそれぞれ凸の一对の円弧を含む形状である半導体受光素子。

【0074】

(5) (1) 又は (2) に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 の前記上面は、[011] 方向および [0-1-1] 方向の一对の頂点 V' を、前記最小包括円 C' の前記円周上に含む形状である半導体受光素子。

30

【0075】

(6) (5) に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 の前記上面は、多角形である半導体受光素子。

【0076】

(7) (1) から (6) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 よりも上の層の前記上面は、[0-11] 方向および [01-1] 方向の一对の頂点 V を、最小包括円 C の円周上に含む形状である半導体受光素子。

40

【0077】

(8) (1) から (7) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 の前記上面は、外形において、前記吸収層 16 の下面に一致している半導体受光素子。

【0078】

(9) (1) から (6) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 218 よりも上の層の前記上面は、円形である半導体受光素子。

【0079】

(10) (1) から (8) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 218 の前記上面は、前記吸収層 216 から突出している半導体

50

受光素子。

【0080】

(11) (1) から (10) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、電極パターン 32 をさらに有し、前記電極パターン 32 は、前記メサ構造 14 の上面にあるメサ電極 36 を含む半導体受光素子。

【0081】

(12) (11) に記載された半導体受光素子であって、前記電極パターン 32 は、前記メサ電極 36 に接続された接続電極をさらに含み、前記接続電極は、[011] 方向または [0-1-1] 方向に延びている半導体受光素子。

【0082】

(13) (11) 又は (12) に記載された半導体受光素子であって、前記メサ電極 36 は、平面視で開口 38 を有する半導体受光素子。

【0083】

(14) (13) に記載された半導体受光素子であって、前記開口 38 は、信号光が入射可能な形状である半導体受光素子。

【0084】

(15) (14) に記載された半導体受光素子であって、前記開口 38 は、円形である半導体受光素子。

【0085】

(16) (15) に記載された半導体受光素子であって、前記メサ電極 36 は、平面視でリング状である半導体受光素子。

【0086】

(17) (1) から (12) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記基板 410 は、前記メサ構造 414 とは反対側から信号光が入射可能な形状である半導体受光素子。

【0087】

(18) (1) から (17) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 は前記吸収層 16 より厚い半導体受光素子。

【0088】

(19) (1) から (18) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記ワイドバンドギャップ層 18 は、InAlGaAs、InAlAs および InP のいずれかからなる半導体受光素子。

【0089】

(20) (1) から (19) のいずれか 1 項に記載された半導体受光素子であって、前記吸収層 16 は、InGaAs からなる半導体受光素子。

【符号の説明】

【0090】

10 基板、12 第1コンタクト層、14 メサ構造、16 吸収層、18 ワイドバンドギャップ層、20 第2コンタクト層、22 第1凸構造、24 第2凸構造、26 絶縁膜、28 第1スルーホール、30 第2スルーホール、32 電極パターン、34 第1電極、36 メサ電極、38 開口、40 第1外部電極、42 第1接続電極、44 第2電極、46 第2外部電極、48 第2接続電極、214 メサ構造、216 吸収層、218 ワイドバンドギャップ層、220 第2コンタクト層、226 絶縁膜、250 上部メサ構造、252 下部メサ構造、314 メサ構造、316 吸収層、318 ワイドバンドギャップ層、326 絶縁膜、350 上部メサ構造、352 下部メサ構造、410 基板、412 第1コンタクト層、414 メサ構造、416 吸収層、418 ワイドバンドギャップ層、420 第2コンタクト層、426 絶縁膜、428 第1スルーホール、430 第2スルーホール、436 メサ電極、454 レンズ、456 外部電極、458 凸構造、C 最小包括円、C1 最小包括円、C2 最小包括円、D1 第1方向、D2 第2方向、V 頂点、V1 頂点、V2 頂点。

10

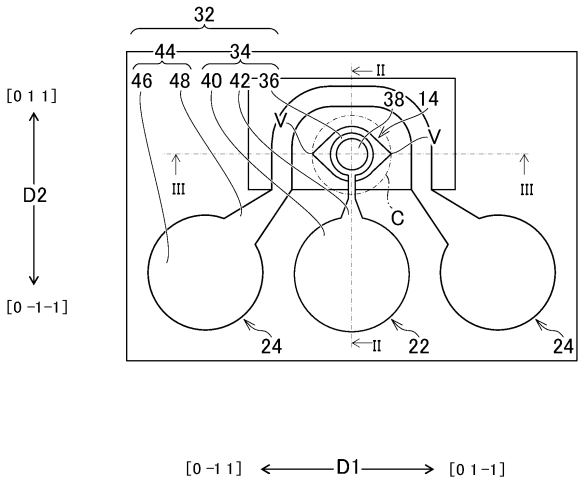
20

30

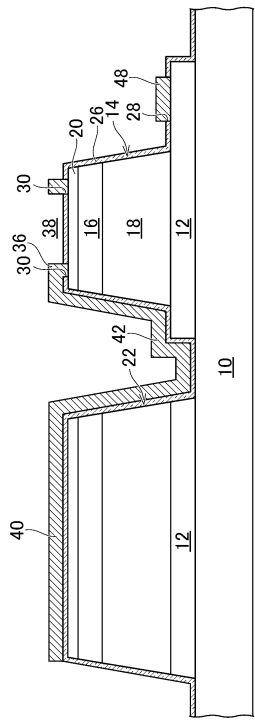
40

50

【図面】
【図 1】



【図 2】



10

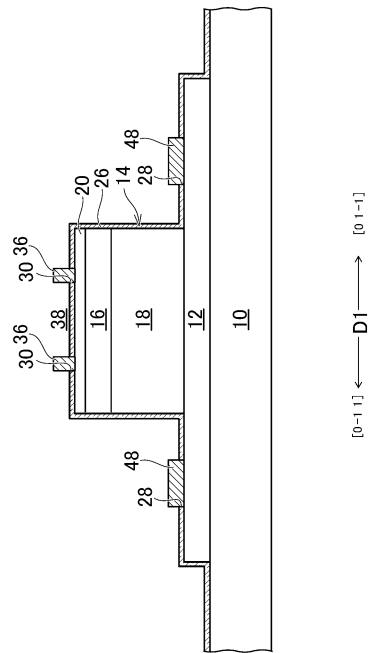
20

30

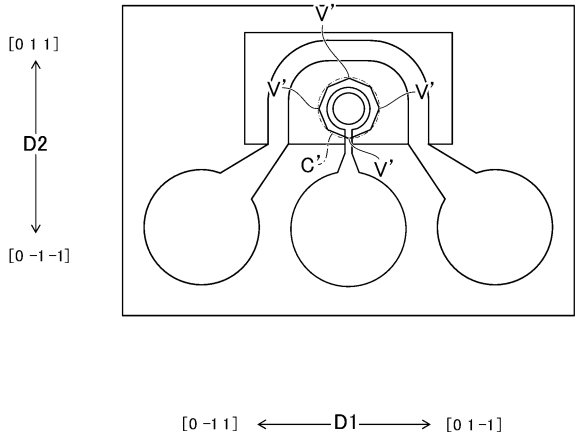
40

50

【図 3】



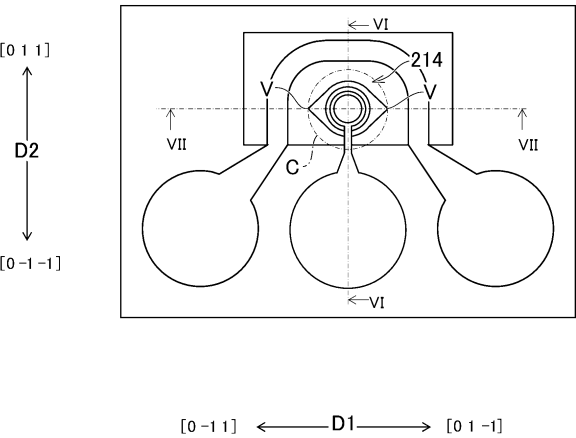
【図 4】



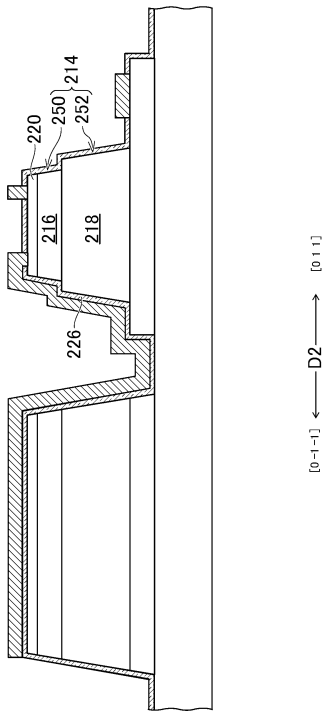
10

20

【図 5】



【図 6】

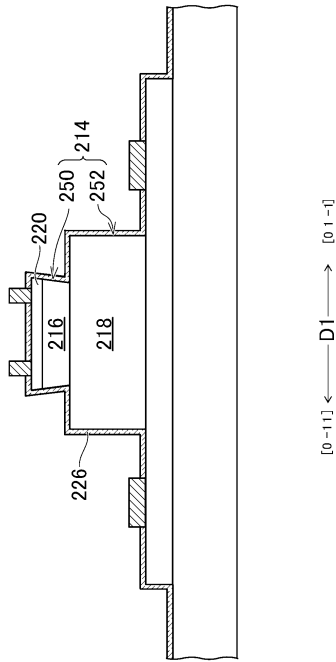


30

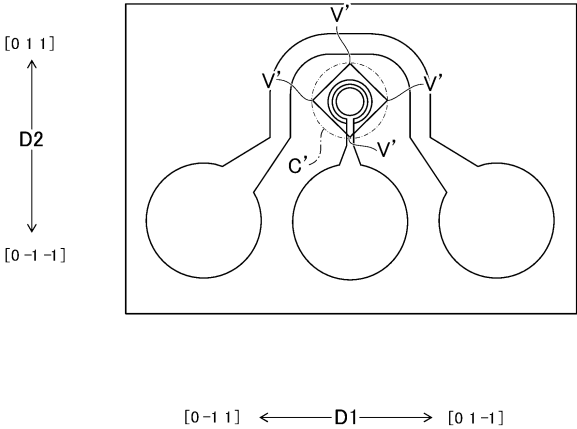
40

50

【図 7】



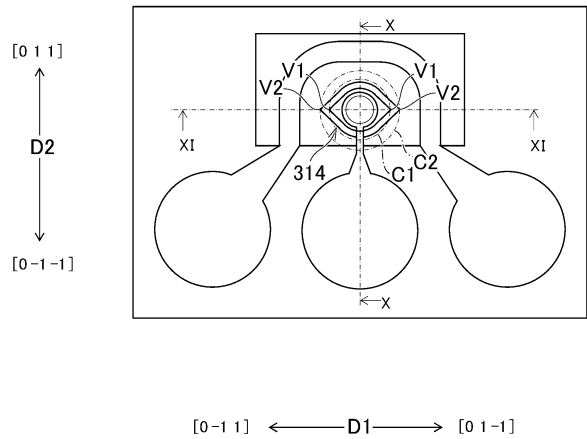
【図 8】



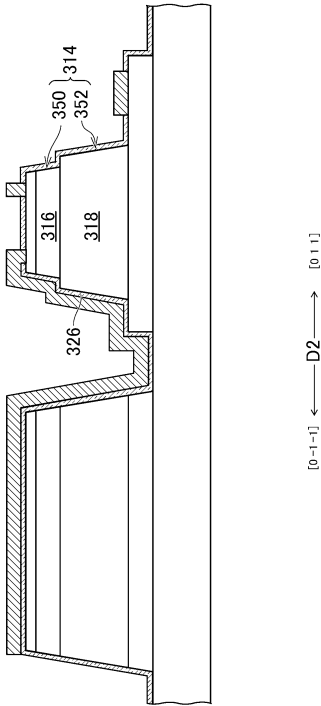
10

20

【図 9】



【図 10】

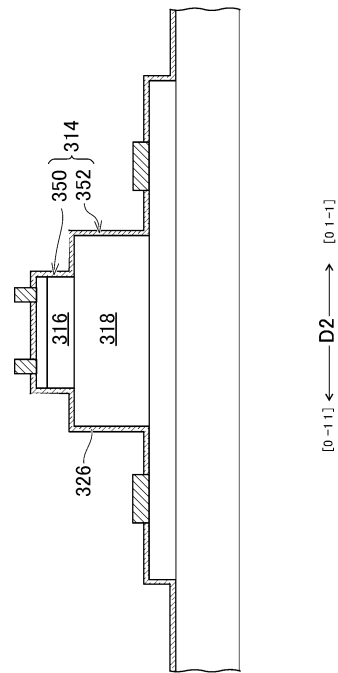


30

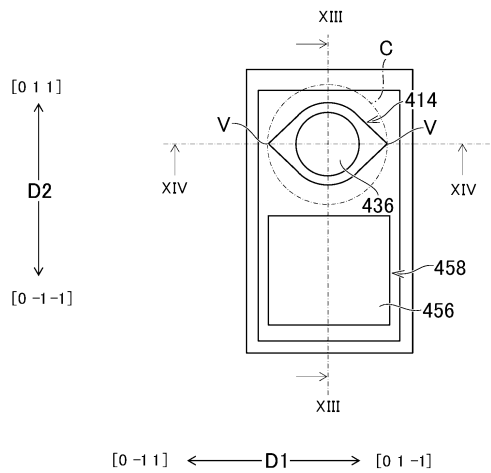
40

50

【図 1 1】



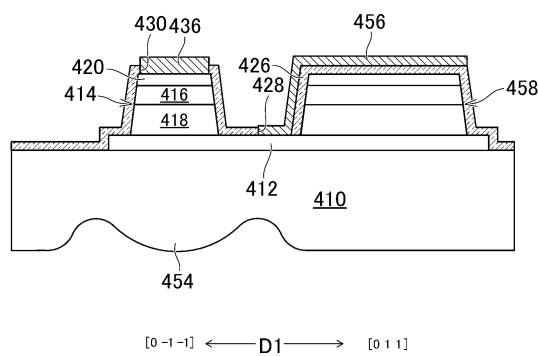
【図 1 2】



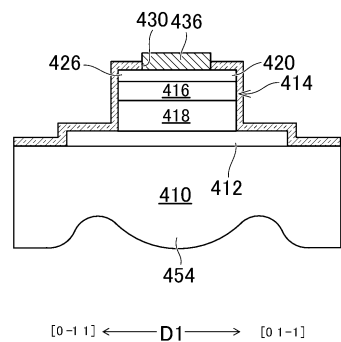
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】



30

40

50

フロントページの続き

5 5 号 日本ルメントム株式会社内
(72)発明者 鷺野 隆
神奈川県相模原市中央区小山四丁目 1 番 5 5 号 日本ルメントム株式会社内
(72)発明者 浜田 重剛
神奈川県相模原市中央区小山四丁目 1 番 5 5 号 日本ルメントム株式会社内
(72)発明者 加藤 豪
神奈川県相模原市中央区小山四丁目 1 番 5 5 号 日本ルメントム株式会社内
F ターム (参考) 5F149 AA04 AA07 AB07 AB17 BA03 BA15 BB01 CB01 DA02 DA05
DA27 DA44 FA12 GA06 GA12 GA17 HA12 JA12 LA01 XB04 XB18
XB37 XB38
5F849 AA04 AA07 AB07 AB17 BA03 BA15 BB01 CB01 DA02 DA05
DA27 DA44 FA12 GA06 GA12 GA17 HA12 JA12 LA01 XB04 XB18
XB37 XB38