

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3996699号
(P3996699)

(45) 発行日 平成19年10月24日(2007.10.24)

(24) 登録日 平成19年8月10日(2007.8.10)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 31/107 (2006.01)	HO 1 L 31/10 B
HO 1 L 21/22 (2006.01)	HO 1 L 21/22 C
HO 1 L 31/00 (2006.01)	HO 1 L 31/00 B

請求項の数 4 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願平10-81624	(73) 特許権者	506076606
(22) 出願日	平成10年3月27日(1998.3.27)		アバゴ・テクノロジーズ・ジェネラル・ア
(65) 公開番号	特開平10-308527		イピー(シンガポール) プライベート・リ
(43) 公開日	平成10年11月17日(1998.11.17)		ミテッド
審査請求日	平成17年3月25日(2005.3.25)		シンガポール国シンガポール768923
(31) 優先権主張番号	08/831-843		, イーシュン・アベニュー・7・ナンバー
(32) 優先日	平成9年4月1日(1997.4.1)		1
(33) 優先権主張国	米国(US)	(74) 代理人	100099623
			弁理士 奥山 尚一
		(74) 代理人	100096769
			弁理士 有原 幸一
		(74) 代理人	100107319
			弁理士 松島 鉄男
		(74) 代理人	100087642
			弁理士 古谷 聡

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体光検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

吸光層と第1の不純物濃度を有するアバランシェ増倍層とを備えた第1の導電性タイプの半導体層構造と、

前記アバランシェ増倍層に近接して配置され、第1のP-N接合を形成する第2の導電性タイプの半導体材料から形成されたキャップ層と、

前記キャップ層と前記第1のP-N接合と前記アバランシェ増倍層の上部とを含み、メサ表面を備え、側部を含むメサ構造と、

前記メサ構造の少なくとも前記側部に重なるウインドウを形成する、前記メサ表面の一部をカバーするマスキング層と、

前記ウインドウと同じ範囲に広がっており、前記第1の不純物濃度より低い第2の不純物濃度を有する前記第2の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料による保護リングと、
を具備した半導体光検出器。

【請求項 2】

前記キャップ層と前記保護リングとの双方が第1の半導体材料から形成されており、前記保護リングの不純物濃度が前記キャップ層のドーパント濃度より低い請求項1に記載の半導体光検出器。

【請求項 3】

前記メサ構造が前記メサ表面から前記メサ構造内に入り込む前記第2の導電性タイプの

バッファ領域を含む請求項に2記載の半導体光検出器。

【請求項4】

前記バッファ領域が前記ウインドウと同じ範囲に広がっている請求項3に記載の半導体光検出器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、アバランシェフォトダイオードに係り、とりわけ、高利得半導体のアバランシェフォトダイオードに関する。

【0002】

10

【従来の技術】

アバランシェフォトダイオード（以下、APDと称す）は、露光すると荷電キャリアが発生し増倍される半導体デバイスである。APDは、高速通信において広く用いられている。APDは、高ピーク電界が降伏に近い、逆バイアス下で動作する。適合する波長範囲内、すなわち、300～1600nm内の入射光子によって、半導体材料に荷電キャリア（電子および/または正孔）が生じる。荷電キャリアは、大きい逆バイアスによって電極に向かって加速される。こうして加速されたキャリアは、半導体材料内における衝突電離によって二次キャリアを発生する。この結果、得られるアバランシェの利得は103を超える可能性がある。APDによって、受光器の感度を10dB向上させることが可能である。

20

【0003】

長い波長、例えば、1000～1600nmの範囲の波長の場合、APDの吸光層は、禁止帯の幅が狭い半導体材料から形成されなければならない。しかし、大きい逆バイアスがかかることによって、一般に、禁止帯の幅が狭い材料を流れる大きな暗電流に起因する過剰ノイズが生じることになる。この過剰ノイズを抑制するため、より禁止帯の幅が広い材料の独立した層を設けて、アバランシェ増倍を可能にしている。こうして構成されるAPDは、一般に、独立した吸光および増倍（SAM）APDとして知られている。

【0004】

一般に、2つのタイプのSAM-APD構造、すなわち、平面構造またはメサ構造が存在する。メサ構造SAM-APDの場合、増倍層のエピタキシャル成長が施される。これによって、層の厚さおよび不純物のドーパント濃度に関して精密な制御が可能になる。しかし、メサ構造は、メサ表面の強電界領域を露出する。最近まで、この表面のパシベーションは、十分に立証されておらず、メサ構造APDは好感を持たれなかった。

30

【0005】

適正に設計された平面構造APDは、構造表面における電界強度がメサ構造APDよりも低い。平面構造APDの場合、P-N接合は、一般に、p型ドーピングエージェント（ドーパント）をエピタキシャル成長させたn型層に拡散することによって形成される。増倍層の厚さは、P-N接合の位置によって形成される。図8には、 n^+ -InP基板15上に、n型のInPバッファ層10、 n^- -InGaAs吸光層11、 n^- -InGaAsP中間層12、n-InPアバランシェ増倍層13、および n^- -InPウインドウ層14を順次エピタキシャル成長させた、従来の平面SAM-APDが示されている。 p^+ -InP拡散層16およびp型保護リング17が、選択的拡散またはイオン注入技法によって n^- -InPウインドウ層14に形成される。デバイスの上部表面には、P側電極18が設けられており、 n^+ -InP基板15の下部表面には、N側電極19が形成されている。

40

【0006】

説明したばかりのSAM-APDの場合、 n^- -InGaAs吸光層11における吸光によって発生する正孔は、ドリフトして、n-InPアバランシェ増倍層13内に入り込み、アバランシェ増倍を開始する。APDは、 n^- -InGaAs吸光層11における電界が暗電流を抑制するのに十分な弱さに保たれるように設計するのが理想である。 n^- -InGaAs吸光層11に発生する正孔が、 n^- -InGaAs吸光層11とn型のn-InPアバ

50

ランシェ増倍層 13 の間に形成されたヘテロ接合の価電子帯に蓄積される。これによって、APD の応答時間が増す。この欠点を克服するため、 n^- -InGaAs 吸光層 11 と n 型の n -InP アバランシェ増倍層 13 の間に、 n^- -InGaAs P 中間層 12 が配置される。

【0007】

高感度を得るには、 n^- -InP ウインドウ層 14 と p^+ -InP 拡散層 16 との間の P - N 接合 21 に沿って均一なアバランシェ増倍を実現することが必要になる。そのため、降伏領域を P - N 接合 21 の平面部分と同じだけ広がる APD の中央部分に制限することが必要になる。ずっと以前から、湾曲によって電界強度が増すことが認識されてきた。従って、P - N 接合 21 の両端間が所定の電位差の場合、電界強度は、P - N 接合の湾曲部分 20 のほうが平面部分より高くなる。この電界強度の増大によって、湾曲部分 20 に早期降伏を生じさせる可能性がある。この降伏は、一般に、エッジ降伏として知られるものである。

10

【0008】

エッジ降伏を回避するため、 p^+ -InP 拡散層 16 を包囲する p 型保護リング 17 が設けられている。 p 型保護リング 17 は、 n^- -InP ウインドウ層 14 と n -InP アバランシェ増倍層 13 との両方の間に第 2 の P - N 接合 22 が生じるように形成されている。第 2 の P - N 接合 22 は、P - N 接合 21 より一般に深くなる。該 p 型保護リング 17 によって、P - N 接合 21 の湾曲部分 20 が有効に排除される。

【0009】

上述のように、従来の平面 APD の場合、 n^- -InP ウインドウ層 14 は、キャリア濃度が低くなる場合が多く、よりキャリア濃度の高い n 型の n -InP アバランシェ増倍層 13 上にエピタキシャル成長させられる。第 2 の P - N 接合 22 は、高温で、 n^- -InP ウインドウ層 14 に対して、Be イオン等の選択的拡散、または、注入および焼なまし (annealing) を施すことによって形成される。P - N 接合 21 は、一般に、拡散源として Cd または Zn を利用し、 n^- -InP ウインドウ層 14 に対して、 p^+ -InP 拡散層 16 を形成する p 型ドーパントの選択的拡散を施すことによって形成される。

20

【0010】

高利得帯域幅積の APD を実現するため、P - N 接合 21 は、 n -InP アバランシェ増倍層 13 の近くまたは内部に位置するように、できるだけ深く配置される。さらに、応答時間を短縮するため、増倍層は、ドーパント濃度が高くなければならない。このためには、光で発生するキャリアが所望の利得を得るのに十分な量だけ抽出されるように、 n -InP アバランシェ増倍層 13 および p 型保護リング 17 のドーピングと厚さの両方に対して高度な制御を施すことが必要になる。また、 n^- -InGaAs 吸光層 11 における電界は、過剰な暗電流を回避するため、弱く保たなければならない。

30

【0011】

APD を製造する拡散技法の限界は明白である。拡散を利用して形成することが可能な構造の精度には限界がある。例えば、100 GHz の利得帯域幅積を実現するには、均一にドーパされた増倍層は、必要とされる $\pm 0.004 \mu\text{m}$ で約 $0.7 \mu\text{m}$ の厚さを備えていなければならない。拡散テクノロジーによってこの精度を実現するのは極めて困難である。同様の理由から、保護リングのドーピングおよび位置を正確に制御するのは困難である。このため、APD の生産において生産の歩留まりが減少し、コストが増大する場合が多い。生産の歩留まりの減少は、高利得帯域幅積の APD を製造する場合の重大な欠点である。

40

【0012】

米国特許出願第 08 / 389, 375 号において、本発明の発明者は、メサのまわりに保護リングをエピタキシャル再成長させることによって、メサ表面における平面 P - N 接合のパシベーションに関する問題を解決した、メサ構造 SAM - APD を開示している。該デバイスの断面図が図 9 に示されている。 p^+ -InP 基板 26 上に、 n^- -InGaAs 吸光層 23、 n^- -InGaAs P 中間層 24、 n -InP アバランシェ増倍層 25、および

50

均一な p^+ -InP キャップ層 27 のエピタキシャル成長が順次実施される。n-InP アバランシェ増倍層 25 および p^+ -InP キャップ層 27 によって、第 1 の平面 P - N 接合 28 が形成される。 p^+ -InP キャップ層 27 の厚さを完全に貫いて延びる部分、および n-InP アバランシェ増倍層 25 の厚さを部分的に貫いて延びる部分を除去することによって、メサ構造が形成される。

【0013】

増倍層上において、保護リング 29 のエピタキシャル再成長が実施されて、メサが包囲され、保護リング 29 と n-InP アバランシェ増倍層 25 との間の界面に第 2 の P - N 接合 34 が形成される。保護リング 29 は、保護リング 29 の再成長前に、メサ構造の表面において露出された、第 1 の平面 P - N 接合 28 を保護する。保護リング 29 は、 p^+ -InP キャップ層 27 と同じ半導体材料から形成するのが望ましいが、保護リング 29 の電界を弱めるため、不純物の濃度はより低い。

10

【0014】

第 2 の P - N 接合 34 には、平面部分 36 および湾曲部分 37 が含まれている。平面部分 36 は、n-InP アバランシェ増倍層 25 に隣接して、平行に配置されている。湾曲部分 37 は、第 1 の平面 P - N 接合 28 よりも n^- -InGaAs 吸光層 23 に近接して配置されている。さらに、保護リング 29 は、不純物の濃度が n-InP アバランシェ増倍層 25 より低いことが望ましい。この構造によって、第 1 の平面 P - N 接合 28 に近接した電界が大幅に弱まり、エッジ降伏の可能性が低下する。

【0015】

20

図 9 に示すメサ構造 APD には、図 8 に示す従来の平面構造 APD の n^- -InP ウインドウ層 14 に対応するウインドウ層が欠けている。ウインドウ層を省くことによって、アバランシェの立ち上がり時間が大幅に短縮され、この結果、従来の平面構造 APD に比べて、メサ構造 APD の応答時間が短縮される。

【0016】

P 側電極 30 が、 p^+ -InP キャップ層 27 に接触して配置されている。N 側電極 31 が、半導体基板である n^+ -InP 基板 26 の下方表面に形成されている。

【0017】

上述のメサ構造 SAM - APD のテスト結果は、多少の残留エッジ降伏が生じることを表している。こうした残留エッジ降伏の原因に関する発明者の分析によれば、APD の利得が、第 1 の P - N 接合の両端間において均一ではなく、この接合がメサ構造の側部と交差するところにピークがあるということである。発明者の分析によれば、利得ピークの原因は、メサ構造とエピタキシャル再成長させた保護リングとの界面に残る鋭角コーナ 32 ということになる。少量ドーブした増倍層および保護リングに隣接して配置された、多量ドーブした p 型材料の鋭角部分によって、第 1 の P - N 接合の両端における電界強度が急激に増大する。

30

【0018】

さらに、上述のメサ構造 SAM - APD の生産歩留まりは、期待より少なかった。複数 APD が、共通基板上に造られ、ウェーハの全表面に、単一保護リング層のエピタキシャル再成長が施される場合、デバイスの保護リングを互いに分離するため、後続の追加エッチングが必要になる。保護リングがエッチングによって形成される場合、保護リングの周囲に、第 2 の再成長によって、または、窒化珪素のような適合する融電体薄膜によってパシベーションを施し、過剰な表面漏洩電流を阻止することが必要になる。追加処理によって、良好な APD の歩留まりが減少する。

40

【0019】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、平面 P - N 接合および保護リングの界面におけるエッジ降伏を被らない SAM - APD を提供することにある。本発明のもう 1 つの目的は、共通保護リング層にエッチングを施して、同じ基板上に造られる APD の保護リングを形成する必要のない、また、保護リングの周辺にパシベーションを施す追加処理を必要としない、SAM - APD

50

Dを提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、メサ構造の表面における p^+ バッファ領域によって、バッファ領域の形成以前に、少量ドーブした n 型増倍層および p 型保護リングに隣接して存在したキャップ層の鋭角をなす多量ドーブした部分が排除される。この結果、平面エピタキシャル $P-N$ 接合の端部における電界強度が低下し、この接合のエッジ降伏が阻止される。 $SAM-APD$ には、保護リングの再成長以前にマスク層に形成されたウインドウによって側方範囲が画定される、保護リングが含まれている。この保護リング構造によって、保護リングの側方範囲を画定し、保護リングの周囲にパシベーションを施す追加処理ステップを実施する必要がなくなる。

10

【0021】

本発明によれば、半導体層構造、キャップ層、バッファ領域を含むメサ構造、および保護リングから構成される半導体光検出器が得られる。半導体層構造は、第1の導電性タイプの層構造であり、吸光層およびアバランシェ増倍層を含んでいる。アバランシェ増倍層は、第1の不純物濃度を有している。キャップ層は、第2の導電性タイプの半導体材料から形成され、アバランシェ増倍層に近接して配置され、増倍層と第1の $P-N$ 接合を形成する。メサ構造には、キャップ層、第1の $P-N$ 層、第1の $P-N$ 接合、およびアバランシェ増倍層の上方部分が含まれている。バッファ領域は、メサ表面からメサ構造内に入り込む第2の導電性タイプの領域である。保護リングは、第2の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料製であり、メサ構造のバッファ領域に近接して配置され、第1の $P-N$ 接合を包囲する。保護リングは、第1の不純物濃度より低い第2の不純物濃度を有している。

20

【0022】

本発明によれば、上述の半導体光検出器を製造する方法も得られる。該方法の場合、半導体層構造が得られる。半導体層構造には、第1の導電性タイプのキャップ層と、第2の導電性タイプの吸光層およびアバランシェ増倍層とが含まれている。増倍層は、キャップ層に近接して配置されて、第1の $P-N$ 接合を形成する。半導体層構造にエッチングを施すことによって、キャップ層およびアバランシェ増倍層の一部を含むメサ構造が形成される。メサ表面に不純物を注入することによって、第1の導電性タイプのバッファ領域が形成される。次に、メサ構造のまわりに、第1の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料の層を選択的に再成長させることによって、保護リングが形成される。

30

【0023】

本発明によれば、半導体層構造、キャップ層、メサ構造、メサ表面の一部をカバーするマスク層、およびマスク層のウインドウによって側方範囲が画定される保護リングから構成される半導体光検出器も得られる。半導体層構造は、第1の導電性タイプの層構造であり、吸光層およびアバランシェ増倍層を含んでいる。アバランシェ増倍層は、第1の不純物濃度を有している。キャップ層は、第2の導電性タイプの半導体材料から形成され、アバランシェ増倍層に近接して配置され、増倍層と第1の $P-N$ 接合を形成する。メサ構造には、キャップ層、第1の $P-N$ 接合、およびアバランシェ増倍層の一部が含まれている。マスク層は、メサ表面の一部をカバーし、メサ構造の少なくとも側部をカバーするウインドウを形成する。保護リングは、第2の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料であり、ウインドウと同じだけ広がっている。保護リングは、第1の不純物濃度より低い第2の不純物濃度を有している。

40

【0024】

最後に、本発明によれば、上述の半導体光検出器の製造方法が得られる。この方法の場合、半導体層構造が形成される。この半導体層構造には、第1の導電性タイプのキャップ層と、第2の導電性タイプの吸光層およびアバランシェ増倍層とが含まれる。アバランシェ増倍層は、キャップ層に近接して配置され、第1の $P-N$ 接合を形成する。半導体層構造にエッチングを施すことによって、キャップ層とアバランシェ増倍層の一部を含むメサ構造とが形成される。メサ構造の表面の一部に、第1の導電性タイプのエピタキシャル半導

50

体材料の層を選択的に再成長させることによって、保護リングが形成される。エピタキシャル半導体材料の層を選択的に再成長させることによって、メサ構造に対する所定の側方範囲が画定される。

【0025】

【発明の実施の形態】

図1には、本発明によるSAM-アバランシェフォトダイオード(APD)100の第1の実施形態が示されている。この場合、 n^- -InGaAs吸光層104、 n^- -InGaAs P中間層106、 n -InPアバランシェ増倍層108、および均一な p^+ -InPキャップ層110から構成される層構造102が、 n^+ -InP基板112上に配置される。 n^+ -InP基板112上において、該層構造102を構成する層のエピタキシャル成長が順次実施される。 p^+ -InPキャップ層110と n -InPアバランシェ増倍層108の間の界面には、平面である第1のP-N接合114が配置される。第1のP-N接合114は、2つのエピタキシャル成長させた層間における階段平面接合である。第1のP-N接合114は、不純物濃度が増倍層よりかなり高い p^+ -InPキャップ層110のために非対称性である。

10

【0026】

メサ構造120は、 p^+ -InPキャップ層110と、 n -InPアバランシェ増倍層108の一部を通して延びている。メサ構造120の場合、メサ上部122は、傾斜するメサ側部126によってメサ肩124に接続されている。メサ構造120のメサ表面128は、環状ウインドウ162、166を形成するマスキング層164によってカバーされている。マスキング層164は、一般に、窒化珪素の層であり、3つの主たる役割を担っている。SAM-APD100の生産時に、後述のように、マスキング層164によって保護リングの側方範囲が画定される。生産後、マスキング層164は、保護リングによってカバーされていないメサ表面128の部分にパシベーションを施し、キャップ層をカバーするマスキング層164の部分は、反射防止コーティングとして機能することが可能である。

20

【0027】

バッファ領域130は、メサ表面128からメサ構造120内に入り込む、多量ドーブした p^+ 領域である。バッファ領域130の不純物濃度は、 p^+ -InPキャップ層110と同様であることが望ましい。バッファ領域130は、メサ構造の傾斜するメサ側部126、およびメサ肩124の少なくとも一部にp型不純物の浅い拡散を施すことによって、形成することが可能である。さらに詳細に後述するように、バッファ領域130は、環状ウインドウ162によって形成されるメサ構造120の表面の一部にp型の不純物を選択的に拡散することによって形成するのが望ましい。しかし、マスキング層164が、バッファ領域130の形成後に追加される場合には、代わりに、メサ構造120の全メサ表面128に非選択的拡散を施すことによって、バッファ領域130を形成することが可能である。

30

【0028】

代替案として、バッファ領域130は、適合するp型の不純物イオンをメサ構造120のメサ表面128に注入することによって形成することも可能である。イオン注入は、メサ構造120のメサ側部126および少なくともメサ肩124の一部に選択的に行うのが望ましいが、非選択的に実施することも可能である。拡散によるバッファ領域の形成に比較すると、イオン注入によるバッファ領域の形成の場合、バッファ領域における不純物濃度、およびバッファ領域の深さをより精密に制御することが可能である。しかし、イオン注入によるバッファ領域の形成には、より多くの処理ステップが必要になる。

40

【0029】

バッファ領域130は、 n -InPアバランシェ増倍層108とP-N接合を形成する。このP-N接合、すなわち第2のP-N接合116は、p型の不純物をn型の増倍領域に拡散または注入することによって形成される結果として、傾斜の穏やかな接合になる。第2のP-N接合116には、平面部分136および湾曲部分138が含まれている。

50

【0030】

バッファ領域130は、メサ表面128からn-InPアバランシェ増倍層108および p^+ -InPキャップ層110内に入り込んでいる。しかし、 p^+ -InPキャップ層110におけるバッファ領域130の一部の特性は、 p^+ -InPキャップ層110におけるp型の不純物が既に高レベルであるため、 p^+ -InPキャップ層110の特性とほぼ同じである。バッファ領域130は、後述するように保護リング140内にもわずかに入り込んでおり、マスクング層164の下を側方に延びている。従って、マスクング層164によって、第2のP-N接合116とメサ表面128の交差部134がパシベーションを施される。

【0031】

10

メサ構造120におけるバッファ領域130の深さのために、バッファ領域130は、SAM-APD100の通常動作中に完全に空乏状態になる。通常動作中、第2のP-N接合116の空乏領域は、バッファ領域130を通して、保護リング140内に入り込む。

【0032】

保護リング140は、一部が p^+ -InPキャップ層110から延び、一部がメサ構造120のメサ肩124にまで達しているため、保護リング140によって、中央部144の外側のメサ上部122の一部とメサ構造120のメサ肩124の一部とがカバーされることになる。保護リング140は、単一の選択的エピタキシャル再成長プロセスによって形成される。 n^+ -InP基板112に配置される複数APDの保護リングが、それぞれ、マスクング層164の環状ウインドウ162において別個に成長させられる。このように、パシベーション層のウインドウにおいて複数APDの保護リングを別個に再成長させることによって、連続した保護リング層を複数APDのそれぞれのために分割し、各保護リングの周囲にパシベーションを施す追加処理の必要がなくなる。SAM-APD100の場合、後述のように、マスクング層164によって、メサ構造の表面にパシベーションが施され、単一処理工程で保護リングの側方範囲が画定される。

20

【0033】

マスクング層164に形成された環状ウインドウ162に保護リング140を選択的に再成長させたAPDは、保護リング層の一部をエッチバックすることによって保護リングの側方範囲を画定したAPDとは物理的に異なっている。選択的に再成長させた保護リング140には、環状ウインドウ162のエッジに隣接して付着成長の輪郭146が含まれている。エッチバックによって再成長させた保護リングには、こうした輪郭がない。さらに、選択的に再成長させた保護リング140のメサ肩124は、フラットであるが、エッチバックによる保護リングの場合、通常、エッチバックプロセスによって、保護リングの側方範囲に一致する側部を備えた第2のメサが形成される。

30

【0034】

望ましい実施形態の場合、保護リング140は、 p^+ キャップ層と同じ半導体材料から形成される。しかし、保護リング140は、 p^+ -InPキャップ層110およびバッファ領域130に比べて不純物の濃度が低い。このため、保護リング140の電界が弱くなる。バッファ領域130によって、バッファ領域130の形成前に、少量ドーピングしたn型のn-InPアバランシェ増倍層108およびp型の保護リング140に隣接して存在した p^+ -InPキャップ層110の鋭角をなす多量ドーピングした部分が有効に排除される。

40

【0035】

P側電極150は、 p^+ -InPキャップ層110に接触させて配置することが可能である。N側電極152は、半導体基板である n^+ -InP基板112の下方表面に形成される。電極は、環状または中実とすることが可能である。この開示のため、中実電極は、 p^+ -InPキャップ層110または n^+ -InP基板112を完全にカバーしていることにする。環状電極は、中央に配置されるアパーチャを形成する。

【0036】

図1に示す実施形態の場合、P側電極150は環状であり、N側電極152は中実である。P側電極150は、マスクング層164の環状ウインドウ166を介して p^+ -InPキ

50

ャップ層 110 に接触する。さもなければ、マスク層 164 は、 p^+ -InP キャップ層 110 をカバーして、 p^+ -InP キャップ層 110 の表面にパシベーションを施す。マスク層 164 の厚さは、SAM-APD100 によって検出される光の波長に関して、マスク層 164 が反射防止コーティングの働きをし、SAM-APD100 の検出効率を高めるように選択することが可能である。

【0037】

n^- -InGaAs 吸光層 104 および n^- -InGaAsP 中間層 106 は、その導電性を変更することを意図して添加される不純物ドーパントが存在しないという意味において真性とみなされる。しかし、実際には、これらの層は、一般に、低濃度の n 型不純物を含んでいる。

10

【0038】

第 2 の P-N 接合 116 には、湾曲部分 138 と平面部分 136 が含まれている。第 2 の P-N 接合 116 の輪郭は、メサ構造 120 のメサ表面 128 の輪郭 146 によって決まる。従って、湾曲部分 138 は、メサ構造 120 のメサ側部 126 およびメサ肩 124 の交差部の穏やかに湾曲した輪郭に従い、平面部分 136 は、メサ構造 120 のメサ肩 124 の平面輪郭に従う。

【0039】

第 1 の P-N 接合 114 および第 2 の P-N 接合 116 は、全体として、SAM-APD100 の幅を横切って延びる連続した P-N 接合を形成するが、この連続した P-N 接合は、SAM-APD100 の幅にわたって傾斜の穏やかな接合から階段接合へと変化し、さらに、傾斜の穏やかな接合に戻る。連続 P-N 接合は、第 1 の P-N 接合 114 と第 2 の P-N 接合 116 とが接するところで湾曲している。しかし、 n -InP アバランシェ増倍層 108 から明らかなように、第 1 の P-N 接合 114 と第 2 の P-N 接合 116 の直線部分との間の角度は、優角、すなわち、 180° を超える。P-N 接合の優角をなす湾曲によって、このポイントにおける電界は、第 1 の P-N 接合 114 の中心における電界まで弱くなる。第 1 の P-N 接合 114 のエッジにおける電界のこの弱化によって、エッジ降伏が排除される。P-N 接合は、また、第 2 の P-N 接合 116 の湾曲部分 138 でも湾曲する。この場合、P-N 接合は、鈍角、すなわち、 $90^\circ \sim 180^\circ$ の角度をなして穏やかに湾曲する。この湾曲によって、このポイントにおける電界がわずかに強まるが、第 2 の P-N 接合 116 のこの部分における電界は、第 1 の第 1 の P-N 接合 114 の電界に比べるとはるかに弱いので、このためにエッジ降伏が生じることはない。

20

30

【0040】

図 2 ~ 図 6 には、本発明によるアバランシェフォトダイオードである SAM-APD100 の製造方法が示されている。図 2 には、 n^+ -InP 基板 112 上に、 n^- -InGaAs 吸光層 104、 n^- -InGaAsP 中間層 106、 n -InP アバランシェ増倍層 108、および p^+ -InP キャップ層 110 を順次成長させることによって形成される層構造 102 が示されている。従来のエピタキシャル結晶成長プロセスを利用して、 n^+ -InP 基板 112 上における層の成長が実施される。望ましい実施形態の場合、層の成長は、有機金属熱分解 (OMCVD) を利用して実施された。

【0041】

メサ上部 122 になる p^+ -InP キャップ層 110 の露出表面の一部は、適合するマスク (不図示) を利用して保護される。次に、エッチングを施して、 p^+ -InP キャップ層 110 および n -InP アバランシェ増倍層 108 の非保護部分を除去することによって、メサ構造 120 が形成される。除去部分は、図 3 に示すように、 p^+ -InP キャップ層 110 の厚さを完全に貫いて延び、 n -InP アバランシェ増倍層 108 の厚さを部分的に貫いて延びている。結果生じるメサ構造 120 には、 p^+ -InP キャップ層 110 の厚さ全体、および n -InP アバランシェ増倍層 108 の上方部分 160 が含まれている。エッチングによって、メサ構造 120 のメサ側部 126 における p^+ -InP キャップ層 110 と n -InP アバランシェ増倍層 108 の間に形成された第 1 の P-N 接合 114 が露出する。エッチングの後、第 1 の P-N 接合 114 の下の肩の深さのために、保護リング

40

50

140 (図1) の再成長後、メサ肩124の下に位置する n^- -InGaAsP中間層106の一部の電界が、第1のP-N接合114の下に位置する n^- -InGaAsP中間層106の一部の電界よりも弱くなる。

【0042】

次に、メサ構造120のメサ表面128にマスクング層164を被着させ、従来のマスクおよびエッチングプロセスを利用して選択的に除去することによって、環状ウインドウ162が形成される。環状ウインドウ162は、図4に示すように、メサ上部122の周囲から延びて、メサ側部126を横切り、メサ肩124を部分的に横切ることになる。環状ウインドウ162によって、保護リング140を再成長させるメサ表面128の位置が決まる。望ましい実施形態におけるマスクング層164の材料として、窒化珪素が利用された。上述のように、マスクング層164は、保護リング140およびP側電極150の一部によって後でカバーされるメサ表面128の一部を除くと、メサ表面128の全てをカバーするパシベーション層の働きもする。

10

【0043】

解説したばかりのマスクングプロセス後、層構造102は、OMCVD反応室に戻され、ホスフェン(PH₃: phosphene)雰囲気(atmosphere)中において、通常のエピタキシャル成長が行われる温度範囲より低い温度まで加熱される。p型InPの成長に用いられるドーパントである、ジエチル亜鉛流が、5~10分の範囲の所定の時間にわたって噴射される。この結果、マスクによって保護されていない層構造102のメサ表面128の部分に亜鉛層が被着する。次に、亜鉛は、該メサ表面128の保護されていない部分に拡散し、図5に示すバッファ領域130を形成する。拡散工程は、良好なエピタキシャル成長が生じる温度範囲より低い温度で実施される。なぜならば、温度がそれより高くなると、メサ表面128に被着した亜鉛が再蒸発し、表面内に拡散しないためである。

20

【0044】

バッファ領域130の形成に必要な時間が経過すると、ジエチル亜鉛流が止められ、層構造102の温度が、良好なエピタキシャル成長が生じる温度範囲内の温度まで上昇させられて、保護リング140の再成長が可能になる。

【0045】

代替案として、バッファ層であるバッファ領域130をイオン注入によって形成すべき場合には、上述のマスクングプロセス後に、イオン注入反応器内に層構造102を配置して、ベリリウム、マグネシウム、または、亜鉛イオンの注入を実施し、メサ構造120内に約 $0.1 \pm 0.05 \mu\text{m}$ の深さまで入り込むバッファ領域130が形成される。この注入は、 $10^{13} \sim 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の範囲の濃度が得られるまで続行される。次に、層構造102が反応室内に戻され、保護リング140の再成長が可能になるように、良好なエピタキシャル成長が生じる温度範囲内の温度まで加熱される。再成長プロセスの間中、層構造102をこの温度に維持することによって、層構造102の焼なましも行われ、イオン注入プロセスによって生じた構造の損傷が修復される。

30

【0046】

保護リング140は、エピタキシャル成長プロセス、例えば、気相エピタキシまたは分子ビームエピタキシを利用して再成長させることが可能である。しかし、説明したばかりのように、ごくわずかな追加処理でバッファ領域130の形成が可能になるので、OMCVDが望ましい。成長条件を適正に選択すれば、保護リング140を形成することになる p^- -InPが、メサ表面128の露出部分、すなわち、環状ウインドウ162内に成長するが、マスクング層164の表面には成長しない。従って、保護リング140は、成長すると、環状ウインドウ162内に配置されたメサ構造120のメサ上部122の周囲部分、メサ側部126、およびメサ肩124の一部をカバーすることになる。すなわち、保護リング140は、図6に示すように、メサ構造120のメサ側部126と、 p^+ -InPキャップ層110と n -InPアバランシェ増倍層108との間の第1のP-N接合114との交差部分をカバーする。

40

【0047】

50

保護リング１４０の再成長が済むと、マスク層１６４に選択的にエッチングを施して、環状ウインドウ１６６が形成される。次に、従来の金属蒸着および除去技法を利用して、Ｐ側電極１５０およびＮ側電極１５２が形成される。Ｐ側電極１５０は、環状ウインドウ１６６を介して p^+ -InPキャップ層１１０に接触する。

【００４８】

メサ構造１２０のメサ肩１２４における保護リング１４０の範囲が、マスク層１６４の環状ウインドウ１６２によって画定されるように、また、層構造１０２に形成される隣接ＡＰＤの保護リングが同じ再成長工程において個別に形成されるように、保護リングを選択的に成長させることによって、生産プロセスが単純化され、良好なＡＰＤの歩留まりが増大する。説明したばかりの方法で保護リングを成長させることによって、追加エッチバックまたは陽子注入工程を実施し、メサ上部を露出させる必要がなくなる。さらに、マスク層１６４によってその側方範囲が画定される保護リング１４０を成長させることによって、保護リング１４０の外周にパシベーションを施す追加工程を実施する必要がなくなる。

10

【００４９】

メサ構造１２０の形成後に、エピタキシャル再成長を実施して保護リング１４０を形成すると、保護リング１４０の不純物濃度を隣接する n -InPアバランシェ増倍層１０８より低くすることができる。この不純物濃度の関係は、従来の拡散技法を用いて実現することはできない、なぜならば、拡散テクノロジーの場合、 n -InPアバランシェ増倍層１０８の不純物濃度が増すと、 n -InPアバランシェ増倍層１０８と逆の導電性モードの保護リングを形成するために、増倍層内に拡散させなければならない不純物の濃度もそれだけ増すことになるためである。これによって、保護リングにおける電界が大幅に強くなる。保護リング１４０をエピタキシャル再成長させることによって、 n -InPアバランシェ増倍層１０８における不純物濃度とは関係なく、保護リング１４０における不純物濃度を選択することが可能になる。すなわち、保護リング１４０における不純物濃度を n -InPアバランシェ増倍層１０８における不純物濃度より大幅に低くして、なおかつ、 p 型材料から保護リング１４０を形成することが可能になる。従来の拡散ＡＰＤと比較して、保護リングにおける不純物濃度が低いので、保護リング１４０の電界は弱くなる。

20

【００５０】

保護リング１４０の材料の不純物濃度は、保護リング１４０の再成長の進行につれて変動させることが可能である。例えば、保護リング１４０の n -InPアバランシェ増倍層１０８に隣接した部分における不純物濃度は、 n -InPアバランシェ増倍層１０８の不純物濃度に匹敵するようにし、保護リング１４０の n -InPアバランシェ増倍層１０８から遠隔の部分における不純物濃度は、 n -InPアバランシェ増倍層１０８の不純物濃度より高くすることが可能である。さらに、保護リング１４０の材料を再成長の途中で変更することも可能である。

30

【００５１】

図７には、本発明によるＡＰＤの第２の実施形態が示されている。図７の場合、図１に示す第１の実施形態と同じ構成要素は同じ参照番号で表示されており、ここで再度の説明は控えることにする。第１の実施形態の構成要素と同様の構成要素は、同じ参照番号に１０

40

【００５２】

第２の実施形態の場合、保護リング２４０の面積は第１の実施形態の保護リング１４０よりも広がっている。この面積の拡大によって、保護リング２４０の再成長がより制御しやすくなる。保護リングのサイズを拡大するため、マスク層２６４のトポロジは、マスク層１６４のトポロジと異なっている。マスク層２６４は、メサ肩１２４からメサ上部１２２の中心まで、メサ構造１２０のメサ表面１２８を横切って延びる単一の円形ウインドウ２６２を形成する。円形ウインドウ２６２の形状の結果として、バッファ領域２３０および保護リング２４０は両方とも円形であり、メサ肩１２４からメサ上部１２２の中心までメサ構造１２０の表面を横切って延びる。保護リング２４０を再成長させて

50

、メサ構造 120 をカバーするが、第 1 の実施形態のように、マスキング層 264 によって、再成長時に、メサ構造 120 のメサ肩 124 における保護リング 240 の側方範囲が画定される。従って、保護リング 240 の側方範囲を画定するのに、エッチバックおよびパシベーション処理の必要がない。

【0053】

環状 p 接触 250 が保護リング 240 の表面に形成される。

【0054】

環状 p 接触 250 と p^+ -InP キャップ層 110 との間における直列抵抗の増大という犠牲を払うことによって、保護リング 240 の再成長の制御が容易になる。しかし、この直列抵抗によって性能が損なわれる場合、保護リング 240 の中心にエッチバックを施して、キャップ層を露出させることによって、直列抵抗を減らすことが可能である。環状 p 接触 250 は、キャップ層の環状部分と直接接触するように形成される。保護リング 240 にエッチバックを施して、メサ構造の肩における保護リングの側方範囲を画定する発明者の先行技法とは異なり、保護リング 240 にエッチバックを施して、キャップ層の一部を露出させることは、P-N 接合の露出にはならない。従って、保護リングにエッチバックを施して、キャップ層を露出させた後で、追加パシベーションステップを行う必要がない。

【0055】

図 7 の第 2 の実施形態は、図 2 ~ 図 6 に関連した上述の方法と同じ方法で行われる。

【0056】

本発明の上述の実施形態は、InGaAs / InP 系化合物半導体から形成された半導体に関するものであるが、本発明は、例えば、InAlAs / InGaAs、AlGaAsSb、GaAs、Si 等の他の材料から形成された半導体デバイスにも適用することが可能である。さらに、本発明の p 型層および n 型層は、それぞれ n 型層および p 型層に置き換えることが可能である。

【0057】

本開示によって、本発明の例証となる実施形態が明らかにされているが、もちろん、本発明は、解説の実施形態そのままに制限されるものではなく、付属の請求項によって規定の本発明の範囲内において、さまざまな修正を加えることが可能である。

【0058】

以下に本発明の実施の形態を要約する。

1. 吸光層と第 1 の不純物濃度を有するアバランシェ増倍層とを備えた第 1 の導電性タイプの半導体層構造と、
前記アバランシェ増倍層に近接して配置され、第 1 の P-N 接合を形成する第 2 の導電性タイプの半導体材料から形成されたキャップ層と、
前記キャップ層と前記第 1 の P-N 接合と前記アバランシェ増倍層の上部とを含み、メサ表面を備え、前記メサ表面から内部に入り込む前記第 2 の導電性タイプのバッファ領域を含むメサ構造と、
前記メサ構造の前記バッファ領域に近接して配置され、前記第 1 の P-N 接合を包囲し、前記第 1 の不純物濃度より低い第 2 の不純物濃度を有する前記第 2 の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料による保護リングと、を具備した半導体光検出器。

【0059】

2. 前記バッファ領域が前記第 2 の不純物濃度と同様の最高不純物濃度を有している上記 1 記載の半導体光検出器。

【0060】

3. 前記バッファ領域がさらに、前記キャップ層内に部分的に入り込んでいる上記 1 記載の半導体光検出器。

【0061】

4. 前記バッファ領域が前記アバランシェ増倍層と第 2 の P-N 接合を形成し、前記第 1 の P-N 接合および前記第 2 の P-N 接合が優角をなして湾曲する前記メサ表面

10

20

30

40

50

に近い部分を備えた P - N 接合を全体として (collectively) 構成する上記 1 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 2 】

5 . 前記保護リングおよび前記バッファ領域が前記メサ表面上において同じ範囲で側方へ広がっている上記 1 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 3 】

6 . 前記バッファ領域が前記メサ表面に拡散された前記第 2 の導電性タイプの不純物領域である上記 1 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 4 】

7 . 前記バッファ領域が前記メサ表面に注入された前記第 2 の導電性タイプの不純物領域である上記 1 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 5 】

8 . 吸光層と第 1 の不純物濃度を有するアバランシェ増倍層とを備えた第 1 の導電性タイプの半導体層構造と、
前記アバランシェ増倍層に近接して配置され、第 1 の P - N 接合を形成する第 2 の導電性タイプの半導体材料から形成されたキャップ層と、
前記キャップ層と前記第 1 の P - N 接合と前記アバランシェ増倍層の上部とを含み、メサ表面を備え、側部を含むメサ構造と、
前記メサ構造の少なくとも前記側部に重なるウインドウを形成する、前記メサ表面の一部をカバーするマスキング層と、
前記ウインドウと同じ範囲に広がっており、前記第 1 の不純物濃度より低い第 2 の不純物濃度を有する前記第 2 の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料による保護リングと、
を具備した半導体光検出器。

【 0 0 6 6 】

9 . 前記キャップ層と前記保護リングとの双方が第 1 の半導体材料から形成されており、前記保護リングの不純物濃度が前記キャップ層のドーパント濃度より低い上記 8 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 7 】

10 . 前記メサ構造が前記メサ表面から前記メサ構造内に入り込む前記第 2 の導電性タイプのバッファ領域を含む上記 9 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 8 】

11 . 前記バッファ領域が前記ウインドウと同じ範囲に広がっている上記 10 記載の半導体光検出器。

【 0 0 6 9 】

12 . 前記マスキング層が前記メサ表面の少なくとも前記側部に重なる環状ウインドウを形成する上記 8 記載の半導体光検出器。

【 0 0 7 0 】

13 . 前記マスキング層の一部が前記キャップ層の一部の上に延び、前記キャップ層に反射防止コーティングを施している上記 8 記載の半導体光検出器。

【 0 0 7 1 】

14 . 第 1 の導電性タイプのキャップ層と第 2 の導電性タイプの吸光層およびアバランシェ増倍層とを含む半導体層構造を設け、前記アバランシェ増倍層を前記キャップ層に近接して配置することによって、第 1 の P - N 接合を形成し、
前記半導体層構造にエッチングを施して、前記キャップ層と前記アバランシェ増倍層の一部とを含みメサ表面を備えたメサ構造を形成し、
前記メサ表面に不純物を注入して、前記第 1 の導電性タイプのバッファ領域を形成し、
前記メサ構造のまわりに前記第 1 の導電性タイプの半導体材料によるエピタキシャル層を選択的に再成長させて、保護リングを形成する半導体光検出器製造方法。

【 0 0 7 2 】

15 . 前記メサ構造がメサ上部と側部と肩とを含み、

さらに、前記メサ構造の前記肩の少なくとも一部をカバーし、前記メサの側部を包囲するマスクを前記メサ表面の一部に形成し、
前記メサ表面に前記不純物を注入するステップにおいて、前記不純物が前記マスクによってカバーされていない前記メサ表面の一部に注入される上記 1 4 記載の半導体光検出器製造方法。

【 0 0 7 3 】

1 6 . 前記メサ構造のまわりに前記第 1 の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料の層を選択的に再成長させて保護リングを形成するステップにおいて、前記マスクによってカバーされていない前記メサ構造の前記表面の一部に前記エピタキシャル半導体材料を選択的に再成長させる上記 1 5 記載の半導体光検出器製造方法。

10

【 0 0 7 4 】

1 7 . 前記メサ表面に前記不純物を注入するステップにおいて、前記不純物が拡散によって前記メサ構造の前記表面に注入される上記 1 4 記載の半導体光検出器製造方法。

【 0 0 7 5 】

1 8 . 前記メサ表面に前記不純物を注入するステップが、
良好なエピタキシャル再成長が生じる温度より低い温度にまで前記層構造を加熱し、
所定の時間にわたって前記メサ表面にアクセプタ不純物を含むガス流を当て、
良好なエピタキシャル再成長が行われる温度まで前記層構造に加熱してから、前記半導体材料層をエピタキシャル再成長させて前記保護リングを形成する上記 1 7 記載の半導体光検出器製造方法。

20

【 0 0 7 6 】

1 9 . 前記不純物を前記メサ表面に注入するステップにおいて、前記不純物がイオン注入によって前記メサ構造の前記表面に注入される上記 1 4 記載の半導体光検出器製造方法。

【 0 0 7 7 】

2 0 . 層構造を設けるステップにおいて、前記キャップ層がある濃度の不純物を含んでいる層構造が設けられ、
不純物を拡散するステップにおいて、前記キャップ層の不純物の前記濃度にほぼ等しい最高濃度になるように前記不純物を拡散させる上記 1 4 記載の半導体光検出器製造方法。

【 0 0 7 8 】

30

2 1 . 第 1 の導電性タイプのキャップ層と第 2 の導電性タイプの吸光層およびアバランシェ増倍層とを含む半導体層構造を設け、前記アバランシェ増倍層を前記キャップ層に近接して配置することによって、第 1 の P - N 接合を形成し、
前記半導体層構造にエッチングを施して、前記キャップ層と前記アバランシェ増倍層の一部とを含み、メサ表面を備えたメサ構造を形成し、
前記メサ構造の前記表面の一部に前記第 1 の導電性タイプのエピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させて保護リングを形成し、前記メサ構造に係る所定の側方範囲を有する半導体光検出器製造方法。

【 0 0 7 9 】

2 2 . 前記エピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させるステップにおいて、不純物濃度が前記アバランシェ増倍層の不純物ドーパント濃度より低くなるように前記エピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させる上記 2 1 記載の半導体光検出器製造方法。

40

【 0 0 8 0 】

2 3 . 前記メサ構造がメサ上部と側部と肩とを含み、
さらに、前記メサ構造の前記肩の少なくとも一部をカバーし、前記メサの前記側部を包囲するマスクを前記メサ表面の一部に形成し、
前記エピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させて、前記保護リングを形成するステップにおいて、前記マスクによってカバーされていない前記メサ表面の一部に前記エピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させる上記 2 1 記載の半導体光検出器製造方法

50

。

【0081】

24. 前記不純物を前記メサ表面に注入するステップにおいて、前記エピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させて前記保護リングを形成するステップの前に、前記不純物が前記マスクによってカバーされていない前記メサ表面の一部に注入される上記23記載の半導体光検出器製造方法。

【0082】

25. 前記エピタキシャル半導体材料層を選択的に再成長させて前記保護リングを形成するステップが、前記再成長時に前記半導体材料に添加される不純物の濃度と前記半導体材料の組成との少なくとも一方を変更するステップを含む上記23記載の半導体光検出器製造方法。

10

【0083】

【発明の効果】

上述のように本発明によれば、メサ構造の表面における p^+ バッファ領域によって、バッファ領域の形成以前に、少量ドーピングした n 型増倍層および p 型保護リングに隣接して存在したキャップ層の鋭角をなす多量ドーピングした部分が排除される。この結果、平面エピタキシャル $P-N$ 接合の端部における電界強度が低下し、この接合のエッジ降伏が阻止される。

。

【0084】

また、SAM-APDには、保護リングの再成長以前にマスク層に形成されたウインドウによって側方範囲が画定される保護リングが含まれている。この保護リング構造によって、保護リングの側方範囲を画定し、保護リングの周囲にパシベーションを施す追加処理ステップを実施する必要がなくなる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるメサアバランシェフォトダイオードの第1の実施形態を示す断面図である。

【図2】図1に示すアバランシェフォトダイオードの本発明による製造方法を示す断面図である。

【図3】図1に示すアバランシェフォトダイオードの本発明による製造方法を示す断面図である。

30

【図4】図1に示すアバランシェフォトダイオードの本発明による製造方法を示す断面図である。

【図5】図1に示すアバランシェフォトダイオードの本発明による製造方法を示す断面図である。

【図6】図1に示すアバランシェフォトダイオードの本発明による製造方法を示す断面図である。

【図7】本発明によるメサアバランシェフォトダイオードの第2の実施形態を示す断面図である。

【図8】従来のアバランシェフォトダイオードを示す断面図である。

【図9】発明者の先行メサアバランシェフォトダイオードを示す断面図である。

40

【符号の説明】

100 SAM-APD

102 層構造

104 n^- -InGaAs 吸光層

106 n^- -InGaAs P 中間層

108 n -InP アバランシェ増倍層

110 p^+ -InP キャップ層

112 n^+ -InP 基板

114 第1の $P-N$ 接合

116 第2の $P-N$ 接合

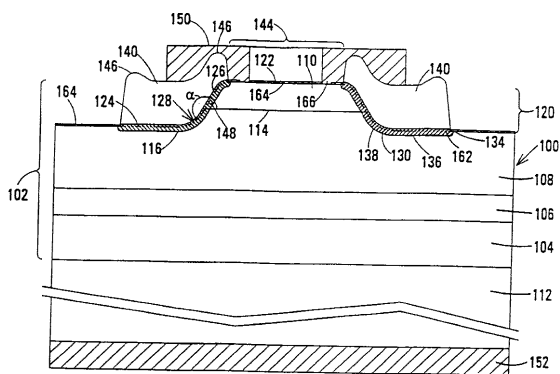
50

- 1 2 0 メサ構造
- 1 2 2 メサ上部
- 1 2 4 メサ肩
- 1 2 6 メサ側部
- 1 2 8 メサ表面
- 1 3 0 バッファ領域
- 1 3 6 平面部分
- 1 3 8 湾曲部分
- 1 4 0 保護リング
- 1 4 4 中央部
- 1 4 6 輪郭
- 1 5 0 P 側電極
- 1 5 2 N 側電極
- 1 6 0 上方部分
- 1 6 2 環状ウインドウ
- 1 6 4 マスキング層
- 1 6 6 環状ウインドウ
- 2 3 0 バッファ領域
- 2 4 0 保護リング
- 2 5 0 環状 p 接触
- 2 6 2 円形ウインドウ
- 2 6 4 マスキング層

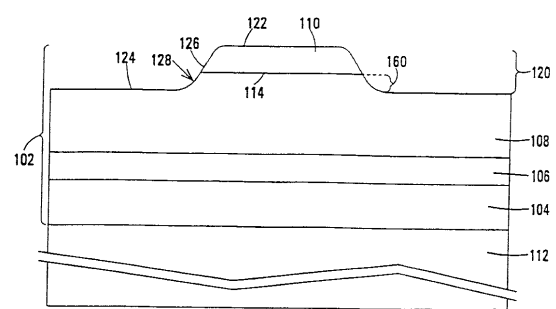
10

20

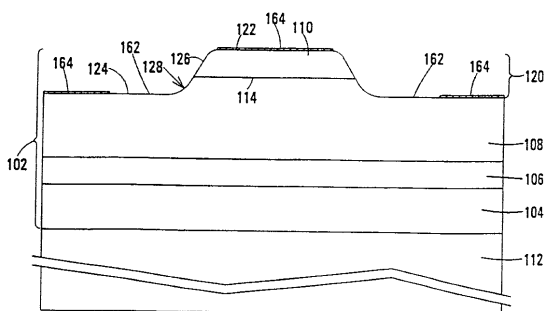
【図 1】



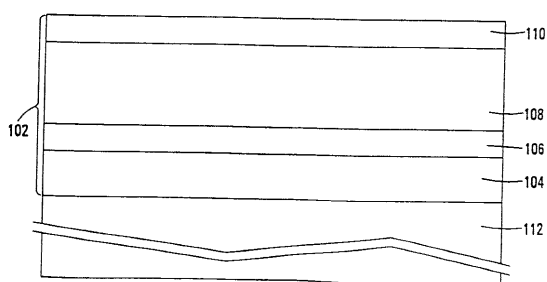
【図 3】



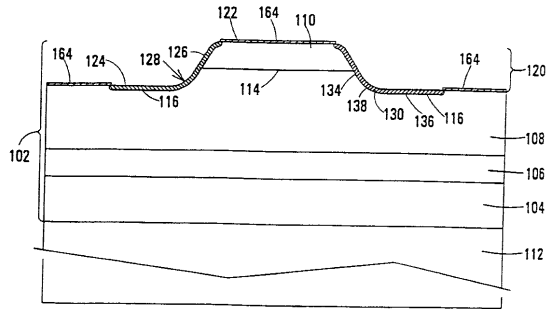
【図 4】



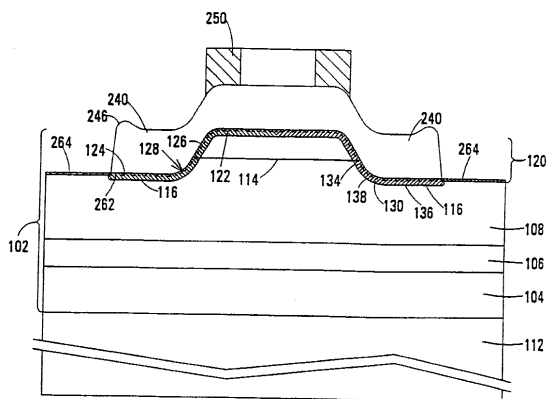
【図 2】



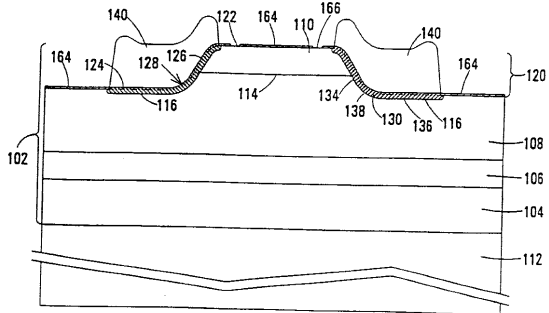
【図 5】



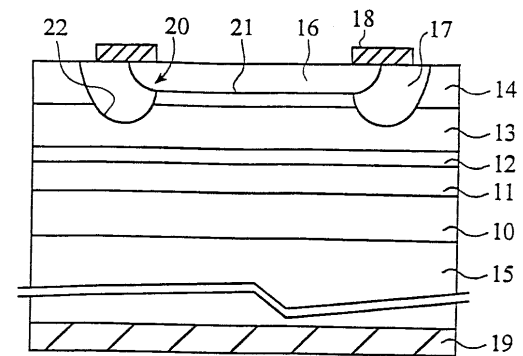
【図 7】



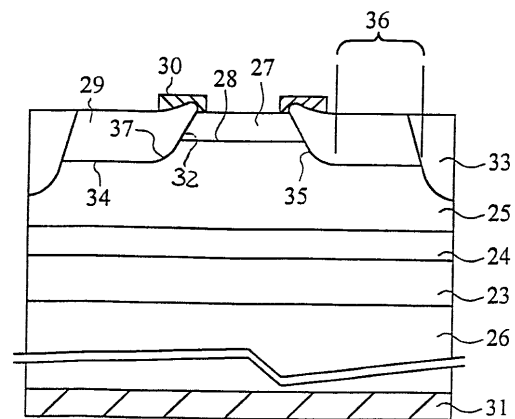
【図 6】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (74)代理人 100076680
弁理士 溝部 孝彦
- (74)代理人 100121061
弁理士 西山 清春
- (72)発明者 グラム・ハスナイン
アメリカ合衆国 カリフォルニア, ユニオン・シティ, レモラ・ドライブ 4 3 8 7
- (72)発明者 ジェームズ・エヌ・ホレンホースト
アメリカ合衆国 カリフォルニア, サラトガ, デビー・レーン 1 3 4 6 6
- (72)発明者 チュング・イー・スー
アメリカ合衆国 カリフォルニア, ミルピタス, チャーチル・ドライブ 2 1 6 9

審査官 金高 敏康

- (56)参考文献 特開平08-242016(JP, A)
特開昭57-111073(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 31/10