

(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2009-111100

(P2009-111100A)

(43) 公開日 平成21年5月21日(2009.5.21)

(51) Int.Cl.
H01L 33/00 (2006.01)F I
H01L 33/00テーマコード (参考)
5 F04 I

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 141 頁)

(21) 出願番号 特願2007-280980 (P2007-280980)
(22) 出願日 平成19年10月29日 (2007.10.29)(71) 出願人 000005968
三菱化学株式会社
東京都港区芝4丁目14番1号
(74) 代理人 100106297
弁理士 伊藤 克博
(74) 代理人 100129610
弁理士 小野 暁子
(72) 発明者 堀江 秀善
茨城県牛久市東端穴町1000番地 株式
会社三菱化学科学技術研究センター内
(72) 発明者 森 寛
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石1番1号
株式会社三菱化学科学技術研究センター
内

最終頁に続く

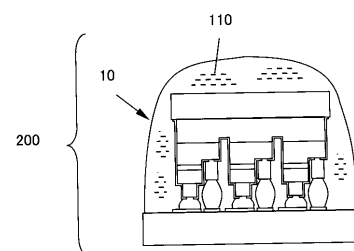
(54) 【発明の名称】 集積型発光源およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】光取り出し効率を向上させ、照明用としても適用可能な発光源を提供する。

【解決手段】集積型発光源は、集積型発光装置と、集積型発光装置に密着して付着している、発光波長において透明な材料からなる光取り出し材料とを有する。集積型発光装置は、発光波長に対して透明な基板と、基板上に形成された複数の発光ユニットを有する。発光ユニットは、化合物半導体薄膜結晶層と電極とを有し、第1の光取り出し方向が基板側である。電極は第1の光取り出し方向とは反対側に形成され、基板と第一導電型半導体層の間に、複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、化合物半導体薄膜結晶層の表面からバッファ層の界面まで、またはバッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電気的に分離されている。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

次の（A）で規定される集積型発光装置と、前記集積型発光装置に密着して付着している、発光波長において透明な材料からなる光取り出し材料とを有する集積型発光源。

（A）：

発光波長に対して透明な基板と、この基板上に形成された複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、前記基板上に、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを有し、

第 1 の光取り出し方向が前記基板側であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第 1 の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記基板と前記第一導電型半導体層の間に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていること

を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【請求項 2】

前記集積型発光装置は、1つの発光ユニット内に、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通している請求項 1 に記載の集積型発光源。

【請求項 3】

次の（C）で規定される集積型発光装置と、前記集積型発光装置に密着して付着している、発光波長において透明な材料からなる光取り出し材料とを有する集積型発光源。

（C）：

複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

第 1 の光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第 1 の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記第 1 の光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【請求項 4】

前記集積型発光装置は、1つの発光ユニット内に、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通している請求項 1 に記載の集積型発光源。

【請求項 5】

前記バッファ層は薄膜結晶成長により形成された層である請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の集積型発光源。

【請求項 6】

前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が 0 .

5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上である請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の集積型発光源。

【請求項 7】

前記光取り出し材料は、次の付着の形態、即ち

(i) 前記集積型発光装置の第 1 の光取り出し方向側の面に付着している形態；

(i i) 前記集積型発光装置の第 1 の光取り出し方向側の面の下部に存在する空隙を充填している形態；および

(i i i) 前記集積型発光装置の全体を覆っている形態；

の少なくとも 1 つの形態を満たすように前記集積型発光装置に付着していることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載の集積型発光源。

【請求項 8】

前記光取り出し材料は、珪素含有化合物を含有することを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の集積型発光源。

【請求項 9】

前記珪素含有化合物が、縮合型シリコン系材料であることを特徴とする請求項 8 記載の集積型発光源。

【請求項 10】

前記縮合型シリコン系材料が、次の条件 (1) ～ (3)：

(1) ケイ素含有率が 20 重量%以上である；

(2) 固体 ^{29}Si -核磁気共鳴 (NMR) スペクトルにおいて、下記 (a) 及び／又は (b) の ^{29}Si に由来するピークを少なくとも 1 つ有する；

(a) ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト -40 ppm 以上、 0 ppm 以下の領域にあり、ピークの半値幅が 0.3 ppm 以上、 3.0 ppm 以下であるピーク

(b) ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト -80 ppm 以上、 -40 ppm 未満の領域にあり、ピークの半値幅が 0.3 ppm 以上 5.0 ppm 以下であるピーク

(3) シラノール含有率が 0.01 重量%以上、 10 重量%以下である；

のうちの少なくとも 1 つを満足することを特徴とする請求項 9 記載の集積型発光源。

【請求項 11】

請求項 1 において (A) で規定される集積型発光装置または請求項 3 において (C) で規定される集積型発光装置を作製する工程と、

前記集積型発光装置に、前記集積型発光装置の発光波長に対して透明な材料からなる光取り出し材料を密着して付着させる工程と、
を有する集積型発光源の製造方法。

【請求項 12】

前記光取り出し材料を付着させる工程は、

(i) 前記集積型発光装置の第 1 の光取り出し方向側の面に付着している形態；

(i i) 前記集積型発光装置の第 1 の光取り出し方向側の面の下部に存在する空隙を充填している形態；および

(i i i) 前記集積型発光装置の全体を覆っている形態；

の少なくとも 1 つの形態を満たすように前記光取り出し材料を前記発光装置に付着させることを含む請求項 11 記載の集積型発光源の製造方法。

【請求項 13】

前記光取り出し材料を付着させる工程は、

液状のシリコン系材料を前記集積型発光装置に付着させることと、

付着させたシリコン系材料を硬化させることと、

を含む請求項 11 または 12 記載の集積型発光源の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、集積型の化合物半導体発光装置を有する発光源に関する。なお、本明細書中において、発光ダイオードまたはLEDとの表現は、レーザダイオード、スーパーluminescentダイオード等を含んだ発光素子一般を含む言葉として使用する。

【背景技術】

【0002】

可視領域に発光スペクトルを有するLEDは広く工業的に製造されており、広く表示用途に使用されている。最も一般的な形状は、1対のp側電極とn側電極を有する1つのLEDを、シリコン系の封止材でその周囲を包みこみ、これを砲弾型と呼ばれる形状にしたものである。白色発光用としては、青色または紫外領域の光を発光するLEDと蛍光体を組み合わせた白色LEDが実用化されている。

10

【0003】

また、波長の異なる複数の半導体発光素子を、1つの支持体上に搭載し、これを近接させてマウントし、封止材でその周囲を包みこみ発光源とした例も知られている。赤、緑、青の発光波長の異なる半導体発光装置を1つの支持体に搭載して、白色化することができる。たとえば特開2002-324915号公報（特許文献1）には、同一基板上に複数の発光ユニットを並列させ、ここに蛍光体をバインダーとともに付着させ、発光装置を大型化する事が記載されている（特許文献1の段落[0085]参照）。

【0004】

また、国際特許公開WO2006/090804号公報（特許文献2）には、半導体発光装置に好適なシリコン系の封止剤が記載され、その材料が、光取り出し膜として使用

20

【特許文献1】特開2002-324915号公報

【特許文献2】国際特許公開WO2006/090804号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

半導体発光装置においては発光効率の向上が常に求められている。しかしながら、特許文献1および2のどちらにも、集積型半導体発光装置を光の取り出しの観点から改良する試みは記載されていない。

【0006】

30

本発明は、例えば照明用としても適用可能な大面積の発光源を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は以下の事項に関する。

【0008】

[1] 次の(A)で規定される集積型発光装置と、前記集積型発光装置に密着して付着している、発光波長において透明な材料からなる光取り出し材料とを有する集積型発光源。

(A)：

40

発光波長に対して透明な基板と、この基板上に形成された複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、前記基板上に、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを有し、

第1の光取り出し方向が前記基板側であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記基板と前記第一導電型半導体層の間に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表

50

面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0009】

〔2〕 前記集積型発光装置は、1つの発光ユニット内に、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通している上記〔1〕に記載の集積型発光源。

【0010】

〔3〕 次の（C）で規定される集積型発光装置と、前記集積型発光装置に密着して付着している、発光波長において透明な材料からなる光取り出し材料とを有する集積型発光源。

10

（C）：

複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

第1の光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

20

前記第一導電型半導体層より前記第1の光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0011】

〔4〕 前記集積型発光装置は、1つの発光ユニット内に、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通している上記〔1〕に記載の集積型発光源。

30

【0012】

〔5〕 前記バッファ層は薄膜結晶成長により形成された層である上記〔1〕～〔4〕のいずれかに記載の集積型発光源。

【0013】

〔6〕 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上である上記〔1〕～〔5〕のいずれかに記載の集積型発光源。

【0014】

〔7〕 前記光取り出し材料は、次の付着の形態、即ち

40

（i）前記集積型発光装置の第1の光取り出し方向側の面に付着している形態；

（i i）前記集積型発光装置の第1の光取り出し方向側の面の下部に存在する空隙を充填している形態；および

（i i i）前記集積型発光装置の全体を覆っている形態；

の少なくとも1つの形態を満たすように前記集積型発光装置に付着していることを特徴とする上記〔1〕～〔6〕のいずれかに記載の集積型発光源。

【0015】

〔8〕 前記光取り出し材料は、珪素含有化合物を含有することを特徴とする上記〔1〕～〔7〕のいずれかに記載の集積型発光源。

【0016】

50

〔 9 〕 前記珪素含有化合物が、縮合型シリコン系材料であることを特徴とする上記〔 8 〕記載の集積型発光源。

【 0 0 1 7 】

〔 1 0 〕 前記縮合型シリコン系材料が、次の条件（ 1 ）～（ 3 ）：

（ 1 ）ケイ素含有率が 2 0 重量％以上である；

（ 2 ）固体 S i -核磁気共鳴（ N M R ）スペクトルにおいて、下記（ a ）及び／又は（ b ）の S i に由来するピークを少なくとも 1 つ有する；

（ a ）ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト－ 4 0 p p m 以上、 0 p p m 以下の領域にあり、ピークの半値幅が 0 . 3 p p m 以上、 3 . 0 p p m 以下であるピーク

（ b ）ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト－ 8 0 p p m 以上、－ 4 0 p p m 未満の領域にあり、ピークの半値幅が 0 . 3 p p m 以上 5 . 0 p p m 以下であるピーク

（ 3 ）シラノール含有率が 0 . 0 1 重量％以上、 1 0 重量％以下である；

のうちの少なくとも 1 つを満足することを特徴とする上記〔 9 〕記載の集積型発光源。

【 0 0 1 8 】

〔 1 1 〕 上記〔 1 〕において（ A ）で規定される集積型発光装置または上記〔 3 〕において（ C ）で規定される集積型発光装置を作製する工程と、

前記集積型発光装置に、前記集積型発光装置の発光波長に対して透明な材料からなる光取り出し材料を密着して付着させる工程と、
を有する集積型発光源の製造方法。

【 0 0 1 9 】

〔 1 2 〕 前記光取り出し材料を付着させる工程は、

（ i ）前記集積型発光装置の第 1 の光取り出し方向側の面に付着している形態；

（ i i ）前記集積型発光装置の第 1 の光取り出し方向側の面の下部に存在する空隙を充填している形態；および

（ i i i ）前記集積型発光装置の全体を覆っている形態；

の少なくとも 1 つの形態を満たすように前記光取り出し材料を前記発光装置に付着させることを含む上記〔 1 1 〕記載の集積型発光源の製造方法。

【 0 0 2 0 】

〔 1 3 〕 前記光取り出し材料を付着させる工程は、

液状のシリコン系材料を前記集積型発光装置に付着させることと、

付着させたシリコン系材料を硬化させることと、

を含む上記〔 1 1 〕または〔 1 2 〕記載の集積型発光源の製造方法。

【発明の効果】

【 0 0 2 1 】

本発明によれば、光取り出し材料が集積型発光装置に密着して付着しているため、光取り出し効率が向上し、照明用としての使用に適した発光源を提供することができる。特に、本発明で使用される集積型発光装置は、いずれも大面積の面光源的発光に適した新規な構造を有しており、光取り出し材料を付着の形態によっては、さらに発光装置内の面光源としての均一性を向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 2 】

本明細書において、「積層」または「重なる」の表現は、もの同士が直接接触している状態に加え、本発明の趣旨を逸脱しない限りにおいて、互いに接触していなくても、一方を他方に投影した際に空間的に重なる状態をも指す場合がある。また、「～の上（～の下）」の表現も、もの同士が直接接触して一方が他方の上（下）に配置されている状態に加え、本発明の趣旨を逸脱しない限りにおいて、互いに接触していなくても、一方が他方の上（下）に配置されている状態にも使用する場合がある。さらに、「～の後（前、先）」との表現は、ある事象が別の事象の直後（前）に発生する場合にも、ある事象が別の事象

10

20

30

40

50

との間に第三の事象を挟んだ後（前）発生する場合にも、どちらにも使用する。また、「接する」の表現は、「物と物が直接的に接触している場合」に加えて、本発明の趣旨に適合する限りにおいて、「物と物が直接的には接触していなくても、第三の部材を介して間接的に接している場合」、「物と物が直接的に接触している部分と、第三の部材を介して間接的に接している部分が混在している場合」などを指す場合もある。

【0023】

さらに、本発明において、「薄膜結晶成長」とは、いわゆる、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)、MBE (Molecular Beam Epitaxy)、プラズマアシストMBE、PLD (Pulsed Laser Deposition)、PED (Pulsed Electron Deposition)、VPE (Vapor Phase Epitaxy)、LPE (Liquid Phase Epitaxy) 法等の結晶成長装置内における薄膜層、アモルファス層、微結晶、多結晶、単結晶、あるいはそれらの積層構造の形成に加えて、その後の薄膜層の熱処理、プラズマ処理等によるキャリアの活性化処理等も含めて薄膜結晶成長と記載する。また、本発明において、「薄膜結晶層」とは、「薄膜結晶成長」によって形成された膜をいう。

【0024】

また、本発明において、集積型発光装置（集積型化合物半導体発光装置）は、あらゆる方向へ光を取り出すことができ、後述する光取り出し材料や絶縁層の構造を適宜変更することで、配光分布も任意に調整することができる。本発明では、集積型発光装置における方向を説明するのに、「第1の光取り出し方向」という用語を用いることがあるが、この用語は、配光分布とは無関係に、単に種々の光取り出し方向のうち1つの方向という意味で、方向を特定することのみに用いる。具体的には、「第1の光取り出し方向」は、集積型発光装置の第一導電型側電極および第二導電型側電極が設けられた側と反対側を意味する。

【0025】

また、本発明の「集積型発光装置」は、複数の「発光ユニット」を有する「発光装置」を意味するが、単に「発光装置」と記載する場合もある。また、「集積型発光源」を単に「発光源」と記載する場合もある。

【0026】

<<1. 本発明の全体の構造>>

本発明の集積型発光源は、集積型発光装置に、光取り出し材料が密着して付着している。集積型発光装置は、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層をこの順序で有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを単位とする発光ユニットを複数個有している。

【0027】

集積型発光装置中の複数の発光ユニットにおいて、薄膜結晶層は、同一工程により形成されたものである。これは、薄膜結晶層が同一の成長工程により同一の基板上に成長され、その後の加工（エッチングによる分離等）も実質的に同一工程により行われたことを意味する。従って、化合物半導体薄膜結晶層（以下、単に薄膜結晶層ということもある）を成長する際に使用した成長基板が存在しているときは、集積型発光装置内の発光ユニットは共通の成長基板上に形成されている。また、成長基板が存在しない場合であっても、化合物半導体薄膜結晶層の少なくとも一部の層が、発光ユニット間で共通して連続して存在しているときは、同一の成長基板上に、薄膜結晶成長により形成されたことを意味している。また、成長基板が存在せず、また薄膜結晶層が分断されて共通する薄膜結晶層も存在しない場合であっても、隣接する発光ユニットの薄膜結晶層が、連続する結晶層を分断して形成され、互いの距離に変化がないものは、一般に、集積化を目的として実質的に同一の工程により形成されたとみなすことができる。

【0028】

本発明に使用される集積型発光装置は、後述するような新規な構成を有する発光装置である。また、集積型発光装置および／またはそれを構成する発光ユニットは、必要により絶縁膜、配線、その他必要な構成要素を有することができる。

【0029】

本発明の集積型発光源は、光取り出し材料が集積型発光装置に直接接して付着している。

【0030】

光取り出し材料は、主として、集積型発光源から空気に向けて出射される光の取り出し効率を高める目的で使用される。また、密着性に優れていることから、通常は放熱効率を高め、発光装置の温度上昇を低下させる効果も有している。

10

【0031】

光取り出し材料の付着の態様の例として、

(i) 前記集積型発光装置の第1の光取り出し方向側の面に付着している形態；

(i i) 前記集積型発光装置の第1の光取り出し方向側の面の下部に存在する空隙を充填および／または発光ユニットの側面を被覆している形態；および

(i i i) 前記集積型発光装置の全体を覆っている形態；

を挙げることができる。本発明では、これら(i)～(i i i)の少なくとも1つの形態を満たすように、光取り出し材料を集積型発光装置に付着させることが好ましい。

【0032】

以下に、本発明において使用される集積型発光装置および光取り出し材料について説明する。

20

【0033】

<<2. 集積型発光装置>>

本発明の集積型発光源に組み込まれる集積型発光装置には、好ましくは次のA、B、CおよびDの4タイプがある。

【0034】

タイプA：

発光波長に対して透明な基板と、この基板上に形成された複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、前記基板上に、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを有し、

第1の光取り出し方向が前記基板側であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記基板と前記第一導電型半導体層の間に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていること

を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

40

【0035】

タイプB：

発光波長に対して透明な基板と、この基板上に形成された複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、前記基板上に、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを有し、

第1の光取り出し方向が前記基板側であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記基板と前記第一導電型半導体層の間に、前記複数の発光ユニット間に共通して設け

50

られたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されており、

1つの発光ユニット内には、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通していること

を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0036】

つまり、タイプBの集積型発光装置は、タイプAの集積型発光装置において、1つの発光ユニット内に、活性層構造、第二導電型半導体層および第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は第一導電型半導体層で電氣的に導通していることを特徴とする集積型発光装置である。

【0037】

タイプC：

複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

第1の光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記第1の光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0038】

つまり、タイプCの集積型発光装置は、タイプAの集積型発光装置において、必須の構成要素として基板を含んでいない。逆の見方をすれば、タイプAの集積型発光装置は、タイプCの集積型発光装置において、発光波長に対して透明な基板をさらに有し、この基板上に、第1の光取り出し方向が基板側となるように化合物半導体薄膜結晶層を有し、かつバッファ層が基板と第一導電型半導体層の間に設けられていることを特徴とする集積型発光装置である。

【0039】

タイプD：

複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

第1の光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記第1の光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成され

10

20

30

40

50

た発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されており、

1つの発光ユニット内には、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通していること

を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0040】

つまり、タイプDの集積型発光装置は、タイプCの集積型発光装置において、1つの発光ユニット内に、活性層構造、第二導電型半導体層および第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は第一導電型半導体層で電氣的に導通していることを特徴とする集積型発光装置である。別の見方をすれば、タイプBの集積型発光装置は、タイプDの集積型発光装置において、発光波長に対して透明な基板をさらに有し、この基板上に、第1の光取り出し方向が基板側となるように化合物半導体薄膜結晶層を有し、かつバッファ層が基板と第一導電型半導体層の間に設けられていることを特徴とする集積型発光装置である。

【0041】

上記タイプA、B、CおよびDの集積型発光装置を使用する利点は次の点にある。従来の集積型の発光装置は、2つのタイプがあり、1つめのタイプは、1対のpn接合部分を含む発光ユニットが、互いに電氣的に分離されている装置（特許文献1に記載の装置、および特許文献2の請求項4、図10（b）に記載の装置等）であり、2つめのタイプは1対のpn接合部分を含む発光ユニットが、互いに電氣的に結合されている装置である（特許文献2の請求項5、図10（a）等）。1つめのタイプでは、発光ユニット間の分離溝部分で発光強度が大きく低下するために、面光源全体での均一性に問題があり、また、発光ユニットの1つが劣化した場合に、その近傍のみが極端に発光強度が落ちてしまうという問題も同様にある。2つ目のタイプでは、n型半導体層が発光装置全体で共通となっているために、n側電極から最も近接するp側電極に電流が流れ込むだけでなく、1つのn側電極からあらゆるp側電極に電流が流れ込むことになり、発光装置全体としてみたときの電流注入効率は高くない。また、すべてのp側電極とすべてのn側電極が電氣的に結合しているため、1箇所の劣化が、装置全体の劣化となってしまう問題がある。

【0042】

これに対して、上記タイプA、B、CおよびDの集積型発光装置は、このような問題がなく、発光強度の均一性が高いため、本発明の集積型発光源に使用する集積型発光装置として特に適している。

【0043】

以下にタイプA～Dを順に説明する。

【0044】

<<2-1. タイプAの形態の特徴>>

タイプAの集積型発光装置、およびその製造方法の特徴は次の事項で特定される。

【0045】

1. 発光波長に対して透明な基板と、この基板上に形成された複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、前記基板上に、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを有し、

第1の光取り出し方向が前記基板側であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記基板と前記第一導電型半導体層の間に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成され

10

20

30

40

50

た発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていること
を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0046】

2. 前記バッファ層が、薄膜結晶成長により形成された層であることを特徴とする上記1記載の発光装置。

【0047】

3. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記1または2記載の発光装置。

【0048】

4. 前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記1～3のいずれかに記載の発光装置。 10

【0049】

5. 前記バッファ層が複数の層の積層構造であることを特徴とする上記1～4のいずれかに記載の発光装置。

【0050】

6. 前記発光ユニット間分離溝の幅が、 $2 \sim 300 \mu\text{m}$ の範囲である上記1～5のいずれかに記載の発光装置。

【0051】

7. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝内のスクライプ領域から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層の途中まで形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。 20

【0052】

8. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝内のスクライプ領域から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記基板まで達して形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0053】

9. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝内のスクライプ領域から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記基板の一部を除去して形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0054】

10. 前記発光ユニット間分離溝内の底面および側面の全面を被覆し、前記発光装置の側面に露出した層のうち、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層の側面を被覆し、前記第一導電型側電極の第1の光取り出し方向側の一部に接し、前記第二導電型側電極の第1の光取り出し方向と反対側の一部を覆っている絶縁層を有することを特徴とする上記1～9のいずれかに記載の発光装置。 30

【0055】

11. 前記絶縁層が、前記装置間分離溝の側面に露出した層のすべてを被覆していることを特徴とする上記10記載の発光装置。

【0056】

12. 前記スクライプ領域として、前記装置間分離溝内の溝底面に、前記絶縁層で覆われていない領域が設けられている上記11記載の発光装置。 40

【0057】

13. 前記絶縁層が、前記装置間分離溝内の前記溝底面には形成されておらず、かつ前記装置間分離溝の側面に露出した層のうち、前記溝底面側から導電性を有さない層の少なくとも一部までには形成されていないことを特徴とする上記10記載の発光装置。

【0058】

14. 前記薄膜結晶層が、V族として窒素原子を含むIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする上記1～13のいずれかに記載の発光装置。

【0059】

15. 前記活性層構造が、量子井戸層とバリア層からなり、バリア層の数をB、量子 50

井戸層の数をWで表したとき、BとWが、

$$B = W + 1$$

を満たすことを特徴とする上記1～14のいずれかに記載の発光装置。

【0060】

16. 前記基板が、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃およびMgOからなる群より選ばれることを特徴とする上記1～15のいずれかに記載の発光装置。

【0061】

17. 前記絶縁層が、複数の層からなる誘電体多層膜であることを特徴とする上記10～13のいずれかに記載の発光装置。

10

【0062】

18. 前記基板の第1の光取り出し方向側の表面が平坦でないことを特徴とする上記1～17のいずれかに記載の発光装置。

【0063】

19. 前記バッファ層から基板側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が基板で反射される反射率をR₃、前記基板から第1の光取り出し方向側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率をR₄で表したとき、

$$R_4 < R_3$$

を満たすように基板の第1の光取り出し方向側に低反射光学膜を有することを特徴とする上記1～18のいずれかに記載の発光装置。

20

【0064】

20. 第一導電型がn型であり、第二導電型がp型であることを特徴とする上記1～19のいずれかに記載の発光装置。

【0065】

21. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、ハンダによって金属面を有するサブマウントに接合されていることを特徴とする上記1～20のいずれかに記載の発光装置。

【0066】

22. 複数の発光ユニットを同一基板上に有する集積型化合物半導体発光装置の製造方法であって、

30

発光波長に対して透明な基板上に、バッファ層を成膜する工程と、

少なくとも、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する薄膜結晶層を成膜する工程と、

前記第二導電型半導体層の表面に第二導電型電極を形成する工程と、

前記第一導電型半導体層の一部を表面に露出させる第一エッチング工程と、

前記第一エッチング工程により、露出した第一導電型半導体層の面に第一導電型電極を形成する工程と、

前記発光ユニットを互いに電氣的に分離するための発光ユニット間分離溝を形成するために、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部までを除去する第二エッチング工程と、

40

複数の発光装置に分離するための装置間分離溝を形成するために、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層を除去する第三エッチング工程とを有することを特徴とする集積型化合物半導体発光装置の製造方法。

【0067】

23. 前記バッファ層の成膜工程を、前記薄膜結晶層の成膜工程の一部として、かつ前記第一導電型半導体層の形成に先立って行うことを特徴とする上記22記載の方法。

【0068】

24. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、0.5 (Ω・cm) 以上であることを特徴とする上記22または23記載の方法。

【0069】

50

25. 前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記22～24のいずれかに記載の方法。

【0070】

26. 前記バッファ層を、複数の層の積層構造として成膜することを特徴とする上記22～25のいずれかに記載の方法。

【0071】

27. 前記第三エッチング工程を、前記第二エッチング工程と同時にまたは別に行い、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行うことを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0072】

28. 前記第三エッチング工程において、前記基板表面に達するまでエッチングを行うことを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0073】

29. 前記第三エッチング工程において、前記基板の一部も除去するようにエッチングを行うことを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0074】

30. 前記第二および第三エッチング工程が、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およびそれらの2種以上の組み合わせからなる群より選ばれるガス種を用いたドライエッチングで行われることを特徴とする上記22～29のいずれかに記載の方法。

【0075】

31. エッチングマスクとして、パターニングされた金属フッ化物層を用いることを特徴とする上記30記載の方法。

【0076】

32. 前記金属フッ化物層が、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれることを特徴とする上記31記載の方法。

【0077】

33. 前記第二導電型電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型電極を形成する工程をこの順番に行い、前記第一導電型電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程を有することを特徴とする上記22～32のいずれかに記載の方法。

【0078】

34. 前記絶縁層を形成する工程が、第一～第三エッチング工程の後に行われることを特徴とする上記33記載の方法。

【0079】

35. 前記第二導電型電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去し、スクライブ領域を形成する工程

を有することを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0080】

36. 前記第二導電型電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去する

10

20

30

40

50

まで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層のすべてと、前記装置間分離溝の側壁に形成された絶縁層のうち、前記溝底面側の一部を除去する工程とを有することを特徴とする上記 22～26 のいずれかに記載の方法。

【0081】

37. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記 35 記載の方法。

10

【0082】

38. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記 36 記載の方法。

【0083】

39. さらに、複数の発光装置に分離する工程と、前記第一導電型電極および第二導電型電極を、サブマウント上の金属層に接合する工程とを有することを特徴とする上記 22～38 記載の方法。

【0084】

20

40. 前記接合をハンダで行うことを特徴とする上記 39 記載の方法。

【0085】

タイプ A の形態によれば、大面積の面光源的発光に適した構造を有する集積型化合物半導体発光装置およびその製造方法を提供することができる。

【0086】

特に、発光装置の面積が数 cm^2 を越える場合であっても、発光強度の均一性の高い面的な青色または紫外発光が可能である。また、タイプ A の形態の集積型発光装置は、フリップチップ型であって、サブマウントに搭載できるために、十分な放熱性と高い光取り出し効率を確保することができる。

【0087】

30

タイプ A の形態では、発光ユニット間分離溝が、バッファ層を含めた全ての層が除去されて形成されているのではないので、隣接発光ユニット同士を、電気的には分離しながら近接させることができる。そのため、集積密度の向上および面光源的発光に非常に有利である。また、1箇所の劣化が、装置全体に影響を及ぼすことがないので信頼性の観点でも優れる。さらに、発光ユニット間に共通する、電気的に十分高抵抗なバッファ層の一部まで発光ユニット間分離溝を形成するだけでよいので、基板に到達するほど深くエッチングしなければならないなどの制約を考慮することなしに、十分に厚いバッファ層を用いることも可能であって、このために発光素子部分の結晶性をより良好にすることも可能で、発光装置の高出力化の観点で望ましい。また、エッチング時間も短時間で済むなどの観点でも望ましい。

40

【0088】

以下、タイプ A の形態による集積型発光装置およびその製造方法をさらに詳細に説明する。

【0089】

図 1-1 に、タイプ A の形態による集積型化合物半導体発光装置（以下、単に発光装置という）の 1 例を示す。また、図 1-1 の発光装置の構造を詳細に説明するために、作製途中の形状を示す図 1-2 も参照しながら説明する。ここでは、図 1-1、図 1-2 に示すように、3つの発光ユニット 11 によって 1つの発光装置 10 を構成する例を示しているが、発光ユニット 11 の集積の個数は特に限定はなく、提供される一つの基板内で適宜個数を設定可能である。例えば発光ユニット 11 の数は 2 個でもよく、また、500 個を

50

越える個数を集積してもかまわない。発光装置 10 における発光ユニット 11 の好ましい数は 25～10000 個であり、また発光ユニット 11 が 2 次元的に配列されていることも好ましい。

【0090】

タイプ A の形態において、1 つの発光ユニットは、図に示すように基板 21 上に、少なくとも、第一導電型クラッド層 24 を含む第一導電型半導体層、第二導電型クラッド層 26 を含む第二導電型半導体層、および前記第一および第二導電型半導体層の間に挟まれた活性層構造 25 を有する化合物半導体薄膜結晶層、第二導電型側電極 27、並びに第一導電型側電極 28 を有する。図のように発光ユニット間分離溝 12 は、集積型化合物半導体発光装置 10 内の発光ユニット 11 を区画しているが、基板 21 およびバッファ層 22 は、発光ユニット間に共通して設けられている。

10

【0091】

この例では、第二導電型クラッド層 26 の表面の一部に、第二導電型側電極 27 が配置され、第二導電型クラッド層 26 と第二導電型側電極 27 の接触している部分が第二電流注入領域 35 となっている。また、第二導電型クラッド層、活性層構造の一部、第一導電型クラッド層の一部が除去された構成となっており、除去した箇所に露出する第一導電型クラッド層 24 に接して、第一導電型側電極 28 が配置されることで、第二導電型側電極 27 と第一導電型側電極 28 が、基板に対して同じ側に配置されるように構成されている。

【0092】

タイプ A の形態では、発光ユニット 11 は、互いに発光ユニット間分離溝 12 により電気的には分離されている。即ち、発光ユニット間分離溝 12 は、薄膜結晶層中の導電性の高い層を分断しており、少なくともバッファ層 22 まで、好ましくは図 1-1 に示すようにバッファ層の途中まで除去されているために、発光ユニット間で実質的な電気的結合はない。詳細は後述するが、バッファ層のうちで少なくとも第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層 24）に直接接触している部分は実質的に絶縁性である。尚、タイプ A の形態において、1 つの発光ユニット内の発光ポイント（独立した発光部）は 1 つである。

20

【0093】

また、タイプ A の形態では、発光ユニット間分離溝の幅が、好ましくは 2～300 μm、さらに好ましくは 5～50 μm、最も好ましくは 8～15 μm である。タイプ A の形態では、特に後述する製造方法とあいまって、発光ユニット間分離溝の幅を短くすることが可能であり、面光源に適した集積化が可能になる。

30

【0094】

さらにタイプ A の形態では、その上に形成される素子構造を電気的に構成する層（pn 接合や pin 接合、金属・半導体接合等を形成）の結晶性をより良好にするために、バッファ層の全厚みは、好ましくは 4～20 μm、さらに好ましくは 4.5～10 μm、最も好ましくは 5～8 μm である。

【0095】

図 1-2 には、同一基板上に、中央の発光装置 10 に隣接する別の発光装置も一部図示されており、それぞれの発光装置 10 は、装置間分離溝 13 によって分離されている。装置間分離溝 13 の中のスクライプ領域 14 で、スクライプしブレーキングして、各発光装置を分離して、サブマウント 40 上の金属面 41 に、金属ハンダ 42 を介して第二導電型電極 27 および第一導電型電極 28 をそれぞれ接続して、図 1-1 に示すような発光装置が得られる。

40

【0096】

装置間分離溝は、この例では、バッファ層の途中まで形成されており、好ましい形態の 1 つである。しかし、装置間分離溝が、基板に達するまで薄膜結晶層を除去して形成されている形態も好ましく、また、基板の一部を除去して形成されている形態も可能である。これらの場合のいずれも、バッファ層よりも活性層構造側にある導電性の高い層の側壁に

50

絶縁層を容易に形成できる。いずれの場合も、装置分離溝内のスクライプ領域にて分割して、1つ1つの発光装置に分離される。

【0097】

タイプAの形態の発光装置では、絶縁層30は、薄膜結晶層22～26の表面、側壁等を含んだ露出部分の大部分を覆っているが、図1-1の発光装置の側壁部分、即ち発光装置が分離されていない図1-2の状態における装置間分離溝13中の絶縁層形状は、いくつかの形態が可能である。いずれの形態においても、発光装置を分離する前に、発光装置を区画する装置間分離溝13中に、絶縁層が存在しない部分が存在することが好ましい。そして、絶縁膜が存在しない部分から、発光装置間を分離することが好ましい。その結果、タイプAの形態の発光装置の好ましい形状では、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない。絶縁層の好ましい形態の具体例を次に示す。

10

【0098】

タイプAの発光装置の1形態においては、図1-2に示すように、絶縁層30が装置間分離溝13の溝内の表面の全てを覆うのではなく、基板面（即ち、溝底面）と接している部分に絶縁層30が形成されていないスクライプ領域14が形成されている。このため装置間分離の際に薄膜結晶層にダメージを与えることがなく、また絶縁層の剥がれ等が生じないので好ましい。その結果得られる発光装置では、図1-1のA部分に示すように、絶縁層30が基板末端まで達していない。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれないことが保証される結果、仮にハンダの回り込みがあっても、発光装置の機能が損なわれることがなく信頼性の高い装置となる。

20

【0099】

また、タイプAの発光装置の異なる形態においては、図1-4に示すように、絶縁層30が基板面（即ち、溝底面）と基板に近接する溝側壁部分で形成されていない絶縁層非形成部分15が存在する。この構造も、装置間分離の際に絶縁層の剥がれ等が生じないので好ましい。得られる発光装置では、図1-3のB部分に示すように、絶縁層30が基板面まで達していない絶縁層非形成部分15が存在する。この図では、バッファ層22の壁面の一部までが露出しているが、露出している部分は、ドーピングされていないアンドープ層であることが好ましい。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれないことが保証され、また露出しているのが絶縁性の高い材料であれば、図1-1の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。また、基板の一部までエッチングして装置間分離溝を形成した場合には、溝の壁面のうち、基板部分のみが露出し、バッファ層が絶縁層で被覆されている場合がある。

30

【0100】

また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合には、次のような形状の発光装置が得られる。例えば図1-17および図1-18に示すように、発光装置端までバッファ層22が存在し、バッファ層には、装置間分離溝の底面に基づく段差が存在しており、バッファ層の側壁は、絶縁層で覆われていない部分（装置端部分）と、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）とを有する。バッファ層22の端は、図1-17および図1-18では、基板端面と一致しているが、分離方法によっては、基板21より内側に入ることも、基板21より外側に出ることもある。絶縁層30は、図1-17の例では、図1-17中にC部分で示すように、バッファ層22の端から離れた溝底面の位置から、分離溝底面部分と、分離溝の側壁部分とを被覆している。これは、図1-1および図1-2において、装置間分離溝をバッファ層22の途中でとめた形態に対応する。また、図1-18の例は、図1-3および図1-4において、装置間分離溝をバッファ層22の途中で止めた形態に対応し、図1-18のD部分に示すように、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、第1の光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する。

40

【0101】

また、装置間分離溝の深さは、バッファ層の途中の任意の位置に設定することが可能である。図1-17および図1-18において、装置間分離溝の深さを変更した例を、それ

50

ぞれ図 1-19 および図 1-20 に示す。図 1-19 中の E 部分、図 1-20 中の F 部分の形状は、それぞれ図 1-17 の C 部分、図 1-18 の D 部分と同じである。

【0102】

これらの例のように、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合にも、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない形状ができている装置は、絶縁層の剥がれがないことが保証され、また露出している層を絶縁性の高い材料で構成することにより、図 1-1、図 1-3 の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。

【0103】

さらに、本形態の発光装置では、絶縁層 30 が図 1-1 のように、第一導電型側電極 28 の第 1 の光取り出し方向側の一部に接していること、即ち、第一導電型側電極 28 と第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層 24）とのコンタクト部分の周囲に絶縁層が介在している部分があること、および第二導電型側電極 27 の第 1 の光取り出し方向と反対側の一部を覆っていること、即ち、第二導電型側電極 27 と第二導電型半導体層（図では第二導電型クラッド層 26）の間には絶縁層が存在せずに第二導電型側電極 27 の周囲に被覆している部分があることが好ましい。この形態は、第二導電型側電極 27 が形成された後に絶縁層 30 が形成され、絶縁層 30 が形成された後に第一導電型側電極 28 が形成されたことを意味する。このような順序による製造方法は、後述するが、第二導電型クラッド層 26 等の第二導電型半導体層にダメージが少なく、また第一導電型側電極のダメージが少ないために、高効率の発光装置が得られる。即ち、このような構造を有する発光装置は、高効率を示すことを意味する。

【0104】

さらに、第二導電型側電極 27 の大きさは、第二電流注入領域 35 と同じであるが、第二導電型側電極の露出面 37（第二導電型側電極露出部分）は、第二電流注入領域 35 の大きさよりも小さいことが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層 24 の表面を覆う絶縁層 30 の一部に、第一導電型側電極 28 が第一導電型クラッド層 24 と接触するための開口が設けられ、それが、第一電流注入領域 36 となる。第一導電型側電極 28 の面積を、第一電流注入領域よりも大きくすることが好ましい。

【0105】

また、第二導電型側電極と第一導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことも望ましい。

【0106】

以下に、装置を構成する各部材と構造についてさらに詳細に説明する。

【0107】

<基板>

基板 21 は、光学的に素子の発光波長に対しておおよそ透明であれば、材料等は特に限定されない。ここでのおおよそ透明とは、発光波長に対する吸収が無い、あるいは、吸収が存在しても、その基板の吸収によって光出力が 50% 以上低減しないものである。

【0108】

基板は、電気的には絶縁性基板であることが好ましい。これは、フリップチップマウントをした際に、たとえハンダ材などが基板周辺に付着しても、発光装置への電流注入には影響を与えないからである。具体的な材料としては、例えば InAlGa_N 系発光材料または InAlB_Ga_N 系材料をその上に薄膜結晶成長させるためには、サファイア、SiC、Ga_N、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃、および MgO から選ばれることが望ましく、特にサファイア、Ga_N、ZnO 基板が好ましい。特に Ga_N 基板を用いる際には、その Si のドーピング濃度は、意図的にアンドープ基板を用いる場合には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Si 濃度以下が望ましく、さらに望ましくは $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、電気抵抗の観点と結晶性の観点から望ましい。

【0109】

タイプ A の形態で使用する基板は、いわゆる面指数によって完全に確定されるジャスト基板だけではなく、薄膜結晶成長の際の結晶性を制御する観点から、いわゆるオフ基板

(miss oriented substrate)であることもできる。オフ基板は、ステップフローモードでの良好な結晶成長を促進する効果を有するため、素子のモフォロジ改善にも効果があり、基板として広く使用される。たとえば、サファイアのc+面基板をInAlGa_N系材料の結晶成長用基板として使用する際には、m+方向に0.2度程度傾いた面を使用することが好ましい。オフ基板としては、0.1~0.2度程度の微傾斜を持つものが広く一般的に用いられるが、サファイア上に形成されたInAlGa_N系材料においては、活性層構造内の発光ポイントである量子井戸層にかかる圧電効果による電界を打ち消すために、比較的大きなオフ角度をつけることも可能である。

【0110】

基板は、MOCVDやMBE等の結晶成長技術を利用して集積型化合物半導体発光装置を製造するために、あらかじめ化学エッチングや熱処理等を施しておいてもよい。また、後述するバッファ層との関係で、意図的に凹凸をつけた基板に加工しておき、これによって、薄膜結晶層と基板との界面で発生する貫通転移を発光素子あるいは、後述する発光ユニットの活性層近傍に導入しないようにすることも可能である。

【0111】

基板の厚みとしては、タイプAの1形態においては、装置作製初期においては、通常250~700μm程度のものであり、半導体発光装置の結晶成長、素子作製プロセスにおける機械的強度が確保されるようにしておくのが普通である。これを用いて薄膜結晶層を成長した後に、各々の素子に分離しやすくするために、適宜、研磨工程によってプロセス途中で薄くし、最終的に発光装置としては100μm厚程度以下となっていることが望ましい。また、通常30μm以上の厚みである。

【0112】

さらにタイプAの異なる形態では、基板の厚さは、従来とは異なり厚いものでもよく、350μm程度、さらには400μm、または500μm程度の厚みがあってもよい。

【0113】

さらに、基板の第1の光取り出し方向側の面に、いわゆる低反射コーティング層あるいは低反射光学膜が形成されていることが望ましい。基板-空気界面の屈折率差による反射を抑制し、高出力化、素子の高効率化を図ることができる。ここでバッファ層から基板側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が基板で反射される反射率をR₃、基板から第1の光取り出し方向側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率をR₄で表したとき、基板の第1の光取り出し方向側に、素子の発光波長に対する反射率R₄がR₄<R₃を満たすような低反射光学膜を有することが望ましい。たとえば基板がサファイアである場合には、低反射コーティング膜としてMgF₂等を用いることが望ましい。発光波長における基板の屈折率n_sに対して、低反射コーティング膜の屈折率が、√n_sに近いことが望ましいので、サファイアの屈折率の平方根に対して、MgF₂の屈折率が近いからである。

【0114】

タイプAの形態においては、基板の第1の光取り出し方向側の面が、平坦でない面または粗面であることも好ましい。これにより量子井戸層内で発光した光を高効率で取り出すことが可能になり、素子の高出力化、高効率化の観点で望ましい。また、素子の発光波長をλ(nm)とすると、その粗面の程度は、平均粗さRa(nm)がλ/5(nm)<Ra(nm)<10×λ(nm)を満たすことが望ましく、λ/2(nm)<Ra(nm)<2×λ(nm)を満たすことがより望ましい。

【0115】

<バッファ層>

バッファ層22は、基板上に薄膜結晶成長する上で、転移の抑制、基板結晶の不完全性の緩和、基板結晶と所望の薄膜結晶層との各種の相互不整合の軽減など、主に薄膜結晶成長のための目的のために形成される。さらに、発光ユニット間分離溝をバッファ層の途中

までで止められる程度の厚さと、発光ユニット間の電气的分離ができる程度の絶縁性が必要である。

【0116】

バッファ層は、薄膜結晶成長で成膜され、タイプAの形態で望ましい形態であるInAlGa_{1-x}N系材料、InAlB_{1-x}GaN系材料、InGa_{1-x}N系材料、AlGa_{1-x}N系材料、Ga_{1-x}N系材料などを基板上に異種基板上に薄膜結晶成長する際には、必ずしも基板との格子定数のマッチングが確保されないので、バッファ層は特に重要である。たとえば、薄膜結晶層を有機金属気相成長法(MOVPE法)で成長する際には、600℃近傍の低温成長AlN層をバッファ層に用いたり、あるいは500℃近傍で形成した低温成長GaN層を用いたりすることも出来る。また、800℃から1000℃程度の高温で成長したAlN、

10

【0117】

バッファ層22は必ずしも単一の層である必要はなく、低温で成長したGaNバッファ層の上に、結晶性をより改善するために、ドーピングを施さない1000℃程度の温度で成長したGaN層を数μm程度有するようにしてもかまわない。実際には、このような厚膜バッファ層を有することが普通であって、その厚みは0.5~7μm程度である。タイプAの形態においては、バッファ層は、化合物半導体発光装置内の発光ユニット間に共通して存在することから、ドーピングされた層を有さないことが望ましい。しかし、バッファ層内に結晶性等の観点でドーピングされた層を有するようにする際には、ドーピング層

20

【0118】

特に好ましい形態では、基板に接して350℃~650℃未満程度の低温で薄膜結晶成長させた低温バッファ層と、650℃~1050℃程度の高温で薄膜結晶成長させた高温バッファ層の2層構造のものである。

【0119】

さらに、バッファ層の全厚は、好ましくは4~20μm、さらに好ましくは4.5~10μm、最も好ましくは5~8μmであって、厚膜バッファ層は、その上に形成される発

30

【0120】

また、バッファ層の形成に関しては、いわゆるマイクロチャネルエピタキシーの一種である横方向成長技術(ELO)も使用可能であり、これによってサファイア等の基板とInAlGa_{1-x}N系材料の間で発生する貫通転移の密度を大幅に低減することも可能である。さらに基板の表面に凹凸の加工を施したような加工基板を使用する際にも、横方向成長をさせる際に転位の一部を消滅させることが可能であって、このような基板とバッファ層の組み合わせをこのパートで開示される発明に適応する事は好ましい。さらに、この際には基板上に形成された凹凸によって光取り出し効率が向上する効果もあって、好ましい。

【0121】

本形態においては、バッファ層は、各発光ユニットに共通して存在するため、各発光ユニット間の電气的絶縁を阻害しないように材料選択をすることが必須である。もし、例えば発光装置内のすべての発光ユニットが電气的に結合しているとすると、発光ユニット(一对のpn接合)の1つが劣化した際に、その影響は劣化した発光ユニットの光度低下にとどまらずに、集積型化合物半導体発光装置内全体の電流注入経路の変化として現れる。そのため、1発光ユニットの劣化が発光装置の特性変動として大きく現れてしまう。本形態においては、バッファ層は、各発光ユニット間の電气的絶縁を確保できるように材料選択をすることが極めて好ましい。電气的に絶縁されていることで、駆動中にある発光ユニットが劣化したとしても、その劣化は、発光ユニット1つの問題で済む。

40

【0122】

50

ここで、バッファ層は、1つの発光ユニットにおける劣化等の変化が他のユニットに影響を及ぼさない程度に実質的に絶縁性を有していればよく、例えば層全体の比抵抗 ρ_o ($\Omega \cdot \text{cm}$)が0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$)以上であることが好ましい。さらに好ましくは、1.0 ($\Omega \cdot \text{cm}$)以上であり、さらに好ましくは1.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$)以上、最も好ましくは5 ($\Omega \cdot \text{cm}$)以上である。比抵抗が高いためには、バッファ層はアンドープであることが望ましいが、バッファ層が複数の層からなる場合などにおいては、一部ドーピングされている層があっても、これがアンドープ層の間にあり、発光ユニット間が電氣的に結合していないのであれば問題はない。この場合、第一導電型半導体層（例えば第一導電型クラッド層）に隣接する層が上記の比抵抗を有していればよい。

【0123】

また、バッファ層は装置間分離溝の露出部分になってもよい。露出する部分は、特にアンドープ部分であることが好ましく、装置組み立て時のハンダ等による絶縁不良を抑制することができる。

【0124】

＜第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層＞

本発明の代表的形態では、図1-1に示すようにバッファ層22に接して、発光ユニット間で分断された第一導電型クラッド層24が存在する。第一導電型クラッド層24は、後述する活性層構造25に対して、後述する第二導電型クラッド層26と共に機能して、キャリアを効率よく注入し、かつ、活性層構造からのオーバーフローも抑制し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。また、あわせて活性層構造近傍への光の閉じ込めにも寄与し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。第一導電型半導体層は、上記のクラッド機能を有する層に加えて、コンタクト層のように装置の機能向上のため、または製造上の理由により、第一導電型にドーピングされた層を含むものである。広義には、第一導電型半導体層の全体を第一導電型クラッド層と考えることもよく、その場合にはコンタクト層等は、第一導電型クラッド層の一部と見ることがもできる。

【0125】

一般的に第一導電型クラッド層は、後述する活性層構造の平均屈折率より小さな屈折率を有する材料で、かつ、後述する活性層構造の平均的なバンドギャップよりも大きな材料で構成されることが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層は、活性層構造内の特にバリア層との関係において、いわゆるタイプI型のバンドラインナップとなる材料で構成されるのが一般的である。このような指針の元で、第一導電型クラッド層材料としては、所望の発光波長を実現するために準備される基板、バッファ層、活性層構造等に鑑みて、適宜選択することができる。

【0126】

例えば、基板としてC+面サファイアを使用し、バッファ層として低温成長したGaNと高温成長したアンドープGaNの積層構造を使用する場合には、第一導電型クラッド層としてGaN系材料、AlGaN系材料、AlGaInN系材料、InAlBGaN系材料、もしくはその多層構造を用いることができる。

【0127】

第一導電型クラッド層のキャリア濃度としては、下限としては $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が最も好ましい。上限としては $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましく、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下がより好ましく、 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下が最も好ましい。また、ここでは、第一導電型がn型の場合、ドーパントとしては、Siが最も望ましい。

【0128】

第一導電型クラッド層の構造は、図1-1の一例では単一の層からなる第一導電型クラッド層を示すが、第一導電型クラッド層は、2層以上の層からなるものであってもよい。この場合には、たとえばGaN系材料とAlGaN系材料、InAlGaN系材料、InAlBGaN系材料を使用することも可能である。また第一導電型クラッド層の全体を異

10

20

30

40

50

種材料の積層構造として超格子構造とすることもできる。さらに、第一導電型クラッド層内において、前述のキャリア濃度を变化させることも可能である。

【0129】

第一導電型クラッド層の第一導電型側電極と接触している部分においては、そのキャリア濃度を意図的に高くして、当該電極との接触抵抗を低減することも可能である。

【0130】

第一導電型クラッド層の一部はエッチングされており、かつ、第一導電型クラッド層の露出した側壁、エッチングされた部分などは、後述する第一導電型側電極との接触を実現する第一電流注入領域を除いて、すべて絶縁層で覆われている構造が望ましい。

【0131】

第一導電型クラッド層に加えて、第一導電型半導体層として、必要によりさらに異なる層が存在してもよい。例えば、電極との接続部にキャリアの注入を容易にするためのコンタクト層が含まれていてもよい。また、各層を、組成または形成条件等の異なる複数の層に分けて構成してもよい。

【0132】

<活性層構造>

第一導電型クラッド層24の上には、活性層構造25が形成されている。活性層構造とは、前述の第一導電型クラッド層と、後述する第二導電型クラッド層から注入される、電子と正孔（あるいは正孔と電子）が再結合して発光する層である量子井戸層を含み、かつ、量子井戸層に隣接して配置される、あるいは、量子井戸層とクラッド層間に配置されるバリア層をも含む構造を指す。ここで、本発明のひとつの目的である高出力化、高効率化を実現するためには、活性層構造中の量子井戸層の層数をW、バリア層の層数をBとすると、 $B = W + 1$ を満たすことが望ましい。すなわち、クラッド層と活性層構造の全体の層の関係は、「第一導電型クラッド層、活性層構造、第二導電型クラッド層」と形成され、活性層構造は、「バリア層、量子井戸層、バリア層」、あるいは、「バリア層、量子井戸層、バリア層、量子井戸層、バリア層」のように形成されることが、高出力化のために望ましい。図1-5に、5層の量子井戸層と、6層のバリア層が積層された構造を模式的に示す。

【0133】

ここで、量子井戸層においては量子サイズ効果を発現させて、発光効率を高めるために、その層厚はド・ブロイ波長と同程度にうすい層である。このため、高出力化を実現するためには、単層の量子井戸層のみではなく、複数の量子井戸層を設けてこれを分離して活性層構造とすることが望ましい。この際に各量子井戸層間の結合を制御しつつ分離する層がバリア層である。また、バリア層は、クラッド層と量子井戸層の分離のためにも存在することが望ましい。たとえば、クラッド層がAlGaInNからなり、量子井戸層がInGaInNからなる場合には、この間にGaInNからなるバリア層が存在する形態が望ましい。これは結晶成長の最適温度が異なる場合の変更も容易にできるので、薄膜結晶成長の観点からも望ましい。また、クラッド層が、最もバンドギャップの広いInAlGaInNからなり、量子井戸層が最もバンドギャップの狭いInAlGaInNからなる場合は、バリア層にその中間のバンドギャップを有するInAlGaInNを用いることも可能である。さらに、一般にクラッド層と量子井戸層との間のバンドギャップの差は、バリア層と量子井戸層の間のバンドギャップの差よりも大きく、量子井戸層へのキャリアの注入効率を考えても、量子井戸層はクラッド層に直接隣接しないことが望ましい。

【0134】

量子井戸層は意図的なドーピングは実施しないほうが望ましい。一方、バリア層には、ドーピングを施して、系全体の抵抗を下げるなどのことを実施するのが望ましい。特に、バリア層にはn型のドーパント、特にSiをドーピングするのが望ましい。これは、p型のドーパントであるMgはデバイス内では拡散しやすく、高出力動作時には、Mgの拡散を抑制することが重要となる。このために、Siは有効であって、バリア層にはSiがドーピングされていることが望ましい。但し量子井戸層とバリア層との界面において

10

20

30

40

50

は、ドーピングを実施しないほうが望ましい。

【0135】

1つの素子の活性層構造側壁は、図1-1に示される通り、絶縁層30で覆われていることが望ましい。このようにすると、タイプAの形態に従って作製された素子をフリップボンドする際には、活性層構造の側壁におけるハンダ等による短絡が発生しない利点がある。

【0136】

本形態においては、各発光ユニット内の量子井戸層から発せされる光は、ほぼ同じ発光スペクトルを有することが望ましい。これは、化合物半導体発光装置として、面光源的で、かつ、均一な発光を実現するためである。

【0137】

<第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層>

第二導電型クラッド層26は、前述の活性層構造25に対して、前述の第一導電型クラッド層24と共に、キャリアを効率よく注入し、かつ、活性層構造からのオーバーフローも抑制し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。また、あわせて活性層構造近傍への光の閉じ込めにも寄与し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。第二導電型半導体層は、上記のクラッド機能を有する層に加えて、コンタクト層のように装置の機能向上のため、または製造上の理由により、第二導電型にドーパされた層を含むものである。広義には、第二導電型半導体層の全体を第二導電型クラッド層と考えることもよく、その場合にはコンタクト層等は、第二導電型クラッド層の一部と見ることにもできる。

【0138】

一般的に第二導電型クラッド層は、前述の活性層構造の平均屈折率より小さな屈折率を有する材料で、かつ、前述の活性層構造の平均的なバンドギャップよりも大きな材料で構成される。さらに、第二導電型クラッド層は、活性層構造内の特にバリア層との関係において、いわゆるタイプI型のバンドラインナップとなる材料で構成されるのが一般的である。このような指針の元で、第二導電型クラッド層材料としては、所望の発光波長を実現するために準備される基板、バッファ層、活性層構造等に鑑みて、適宜選択することができる。例えば、基板としてC+面サファイアを使用し、バッファ層としてGa_{0.5}N_{0.5}を使用する場合には、第二導電型クラッド層としてGa_{0.5}N_{0.5}系材料、Al_{0.5}Ga_{0.5}N系材料、Al_{0.5}Ga_{0.5}In_{0.5}N系材料、Al_{0.5}Ga_{0.5}B_{0.5}In_{0.5}N系材料等を用いることができる。また、上記材料の積層構造であってもかまわない。また、第一導電型クラッド層と第二導電型クラッド層は同じ材料で構成することも可能である。

【0139】

第二導電型クラッド層のキャリア濃度としては、下限としては $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がさらに好ましく $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が最も好ましい。上限としては $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましく、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下がより好ましく、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下が最も好ましい。また、ここでは、第二導電型がp型の場合ドーパントとしては、Mgが最も望ましい。

【0140】

第二導電型クラッド層の構造は、図1-1の一例では単一の層で形成された例を示しているが、第二導電型クラッド層は、2層以上の層からなるものであってもよい。この場合には、たとえばGa_{0.5}N_{0.5}系材料とAl_{0.5}Ga_{0.5}N系材料を使用することも可能である。また第二導電型クラッド層の全体を異種材料の積層構造からなる超格子構造とすることもできる。さらに、第二導電型クラッド層内において、前述のキャリア濃度を変化させることも可能である。

【0141】

一般に、Ga_{0.5}N_{0.5}系材料においてはn型ドーパントがSiであって、かつ、p型ドーパントがMgである場合には、p型Ga_{0.5}N、p型Al_{0.5}Ga_{0.5}N、p型Al_{0.5}In_{0.5}Ga_{0.5}Nの結晶性は

、n型Ga₂N、n型AlGa₂N、n型AlInGa₂Nにはそれぞれ及ばない。このため、素子作製においては、結晶性の劣るp型クラッド層を活性層構造の結晶成長後に実施することが望ましく、この観点で、第一導電型がn型で、第二導電型がp型である場合が望ましい。

【0142】

また、結晶性の劣るp型クラッド層（これは、望ましい形態をとった場合の第二導電型クラッド層に相当する）の厚みは、ある程度薄いほうが望ましい。これは、フリップチップボンディングを実施するタイプAの形態においては、基板側が第1の光の取り出し方向となるため、後述する第二導電型側電極側からの光の取り出しを考慮する必要がなく、大面積の厚膜電極を形成することが可能である。このため、フェイスアップマウントを実施する際のように、第二導電型クラッド層における横方向への電流拡散を期待する必要がなく、第二導電型クラッド層は、ある程度薄くすることが素子構造からも有利である。但し、極端に薄い場合には、キャリアの注入効率が低下してしまうため、最適値が存在する。第二導電型クラッド層の厚みは、適宜選択可能であるが、0.05 μmから0.3 μmが望ましく、0.1 μmから0.2 μmが最も望ましい。

10

【0143】

第二導電型クラッド層の第二導電型側電極と接触している部分においては、そのキャリア濃度を意図的に高くして、当該電極との接触抵抗を低減することも可能である。

【0144】

第二導電型クラッド層の露出した側壁は、後述する第二導電型側電極との接触を実現した第二電流注入領域を除いて、すべて絶縁層で覆われている構造であることが望ましい。

20

【0145】

さらに、第二導電型クラッド層に加えて、第二導電型半導体層として、必要によりさらに異なる層が存在してもよい。例えば、電極と接する部分にキャリアの注入を容易にするためのコンタクト層が含まれていてもよい。また、各層を、組成または形成条件等の異なる複数の層に分けて構成してもよい。

【0146】

尚、本発明の要旨に反しない限り、薄膜結晶層として、必要により上述のカテゴリに入らない層を形成してもよい。

【0147】

30

<第二導電型側電極>

第二導電型側電極は、第二導電型の窒化物化合物半導体と良好なオーム性接触を実現し、かつ、フリップチップマウントをした際には、良好な発光波長帯域における反射ミラーとなり、また、フリップチップマウントした際に、ハンダ材などによるサブマウントなどとの良好な接着を実現するものである。本目的のためには、適宜材料選択が可能であり、第二導電型側電極は単一の層であっても、複数の層からなる場合でもかまわない。一般には、電極に要請される複数の目的を達するために、複数の層構成をとるのが普通である。

【0148】

また、第二導電型がp型で第二導電型クラッド層の第二導電型側電極側がGa₂Nである場合には、第二導電型側電極の構成元素として、Ni、Pt、Pd、Mo、Auのいずれかを含むことが望ましい。特に、第二導電型側電極のp側クラッド層側の第一層目はNiであることが望ましく、第二導電型側電極のp側クラッド層側と反対側の表面はAuであることが望ましい。これは、Niの仕事関数の絶対値が大きく、p型材料にとって都合がよく、また、Auは、後述するプロセスダメージに対する耐性、マウントの都合などを考えると最表面の材料として好ましい。

40

【0149】

第二導電型側電極は、第二導電型のキャリアを注入可能であれば、薄膜結晶層のどの層と接してもよく、例えば第二導電型側コンタクト層が設けられるときは、それに接するように形成される。

【0150】

50

＜第一導電型側電極＞

第一導電型側電極は第一導電型の窒化物化合物半導体と良好なオーム性接触を実現し、かつ、フリップチップマウントをした際には、良好な発光波長帯域における反射ミラーとなり、また、フリップチップマウントした際に、ハンダ材等によるサブマウントなどとの良好な接着を実現するものであって、本目的のためには、適宜材料選択が可能である。第一導電型側電極は単一の層であっても、複数の層からなる場合でもかまわない。一般には、電極に要請される複数の目的を達するために、複数の層構成をとるのが普通である。

【0151】

第一導電型がn型であるとする、n側電極は、Ti、Al、Moのいずれかから選択される材料、もしくはすべてを構成元素として含むことが望ましい。これは、これらの金属の仕事関数の絶対値が小さいためである。また、n側電極の第1の光取り出し方向とあい対する向きには、Alが露出するのが普通である。

10

【0152】

タイプAの形態においては、第一導電型側電極は第一電流注入領域の大きさよりも大きな面積に形成され、かつ、第一導電型側電極と第二導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことが望ましい。これは、発光装置をハンダなどでフリップチップマウントした際に、サブマウントなどとの十分な密着性を確保するに十分な面積を確保しつつ、第二導電型側電極と第一導電型側電極との間のハンダ材等による意図しない短絡を防止するのに十分な間隔を確保するために重要である。

【0153】

ここで、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅は15 μm 以上であることが望ましい。これはフォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によって形成することが好ましい第一導電型側電極の形成プロセスにおけるマージンが必要であるからである。

20

【0154】

第一導電型側電極は、第一導電型のキャリアを注入可能であれば、薄膜結晶層のどの層と接してもよく、例えば第一導電型側コンタクト層が設けられるときは、それに接するように形成される。

【0155】

＜絶縁層＞

絶縁層30は、フリップチップマウントを実施した際に、マウント用のハンダ、導電性ペースト材等が「第二導電型側電極と第一導電型側電極の間」、「活性層構造などの薄膜結晶層の側壁」、「異なる発光ユニット間のあらゆる場所」に回りこんで、意図しない短絡が発生しないようにするためのものである。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、材料は適宜選択することができる。例えば、単層の酸化物、窒化物、フッ化物等が好ましく、具体的には、 SiO_x 、 AlO_x 、 TiO_x 、 TaO_x 、 HfO_x 、 ZrO_x 、 SiN_x 、 AlN_x 、 AlF_x 、 BaF_x 、 CaF_x 、 SrF_x 、 MgF_x 等から選ばれることが望ましい。これらは、長期に渡って安定に絶縁性を確保できる。

30

【0156】

一方、絶縁層30を絶縁物の多層膜とすることも可能である。これは、誘電体多層膜となるので、絶縁層内の誘電体の屈折率を適宜調整することによって、発光装置内で発生した光に対して光学的機能を発現させられるからである。

40

【0157】

また、その材料の安定性、屈折率の範囲から考えて、誘電体膜中に、フッ化物が含まれることは望ましく、かつ、具体的には AlF_x 、 BaF_x 、 CaF_x 、 SrF_x 、 MgF_x のいずれかが含まれることが望ましい。

【0158】

＜サブマウント＞

サブマウント40は、金属層を有し、フリップチップマウントをした素子への電流注入と放熱の機能を併せ持つものである。サブマウントの母材は、金属、AlN、SiC、ダ

50

イヤモンド、BN、CuWのいずれかであることが望ましい。これら材料は、放熱性に優れ、高出力の発光素子に不可避である発熱の問題を効率よく抑制できて望ましい。またAl₂O₃、Si、ガラス等も安価であってサブマウントの母材として利用範囲が広く好ましい。尚、サブマウントの母材を金属から選択する際には、その周りを耐エッチング性のある誘電体等で覆う事が望ましい。金属の母材としては、発光素子の発光波長における反射率の高い材料が望ましく、Al、Ag等が望ましい。また、誘電体等で覆う際には、各種CVD法で形成したSiN_x、SiO₂等が望ましい。

【0159】

発光装置は各種ハンダ材、ペースト材によってサブマウント上の金属面に接合される。素子の高出力動作と高効率な発光のために放熱性を十分に確保するためには、特に金属ハンダによって接合されることが望ましい。金属ハンダとしては、In、InAg、PbSn、SnAg、AuSn、AuGeおよびAuSi等を挙げることができる。これらハンダは安定であって、使用温度環境等に照らして適宜選択可能である。

【0160】

また、タイプAの形態の集積型化合物半導体発光装置は、サブマウント上の金属配線を自在に変化させることで、1つの発光装置内の各発光ユニットを並列接続にも、直列接続にも、またはこれらを混在させることも可能である。

【0161】

〔タイプAの形態の発光装置の製造方法〕

次に、タイプAの形態の集積型化合物半導体発光装置の製造方法について説明する。

【0162】

タイプAの形態の発光装置の製造方法の1例では、図1-6に示すように、まず基板21を用意し、その表面にバッファ層22、第一導電型クラッド層24、活性層構造25および第二導電型クラッド層26を薄膜結晶成長により順次成膜する。これらの薄膜結晶層の形成には、MOCVD法が望ましく用いられる。しかし、MBE法、PLD法、PED法なども全部の薄膜結晶層、あるいは一部の薄膜結晶層を形成するために用いることが可能である。これらの層構成は、素子の目的等に合わせて適宜変更が可能である。また、薄膜結晶層の形成後には、各種の処理を実施してもかまわない。なお、本明細書では、薄膜結晶層の成長後の熱処理等も含めて、「薄膜結晶成長」と記載している。

【0163】

薄膜結晶層成長の後、図1-1、図1-2に示された形状を実現するためには、図1-6に示すように、第二導電型側電極27を形成することが好ましい。即ち、予定されている第二電流注入領域35に対する第二導電型側電極27の形成が、絶縁層30の形成よりも、また、第一電流注入領域36の形成よりも、さらには、第一導電型電極28の形成よりも、早く実施されることが望ましい。これは、望ましい形態として第二導電型がp型である場合において、表面に露出しているp型クラッド層の表面に対して各種プロセスを経た後にp側電極を形成すると、GaN系材料では比較的活性化率の劣るp-GaNクラッド層中の正孔濃度をプロセスダメージによって低下させてしまうからである。たとえばp-CVDによる絶縁層の形成工程を第二導電型側電極の形成より前に実施すれば、その表面にプラズマダメージが残存してしまう。このため、本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程（たとえば後述する第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程、あるいは絶縁層形成工程、第二導電型側電極露出部分形成工程、第一電流注入領域形成工程や第一導電型側電極形成工程など）よりも先に実施されることが望ましい。

【0164】

また、タイプAの形態においては、第二導電型がp型である場合には、前述のとおり、第二導電型側電極の表面がAuである場合が代表的な例として想定されるが、露出面がAuなどの比較的安定な金属である場合には、その後のプロセスを経ても、プロセスダメージを受ける可能性が低い。この観点からも本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程よりも先に実施されることが望ましい。

【0165】

なお、本形態では、第二導電型側電極が形成される層が、第二導電型コンタクト層である場合にも同様に、第二導電型半導体層に対してのプロセスダメージを低減することができる。

【0166】

第二導電型側電極27の形成には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、所望の形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。

【0167】

第二導電型側電極27を形成した後、図1-7に示すように、第一導電型クラッド層24の一部を露出させる。この工程は、第二導電型クラッド層26、活性層構造25、さらには第一導電型クラッド層24の一部をエッチングにより除去することが好ましい（第一エッチング工程）。第一エッチング工程においては、後述する第一導電型側電極が第一導電型のキャリアを注入する半導体層を露出することが目的であるので、薄膜結晶層に他の層、たとえば、クラッド層が2層からなる場合や、あるいはコンタクト層がある場合には、その層を含んでエッチングしてもかまわない。

【0168】

第一エッチング工程では、エッチング精度があまり要求されないので、 SiN_x のような窒化物や SiO_x 等の酸化物をエッチングマスクとして Cl_2 等を用いたプラズマエッチング法による公知のドライエッチングを使用することができる。しかし、後述する第二エッチング工程、第三エッチング工程で詳細に説明するような金属フッ化物マスクを用いたドライエッチングを実施することも望ましい。特に、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれる金属フッ化物層を含むエッチングマスクを用いて、 Cl_2 、 SiCl_4 、 BCl_3 、 SiCl_4 等のガスを用いたプラズマ励起ドライエッチングによりエッチングを行うことが好ましい。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能なICP型のドライエッチングが最適である。

【0169】

ここで第二導電型側電極27はプラズマCVD等によって形成される SiN_x マスクの形成履歴、あるいは第一エッチング工程後に実施される該 SiN_x マスク除去工程を履歴するが、Auなどの安定な金属が表面に形成されている場合には、第二導電型側電極が受けるプロセスダメージは少なくなる。

【0170】

次に図1-8に示すように、発光ユニット間分離溝12を、第二エッチング工程により形成する。第二エッチング工程は、第一エッチング工程と比較して、さらに深くGaN系材料をエッチングすることが必要となる。一般に、第一エッチング工程によってエッチングされる層の総和は、 $0.5\mu\text{m}$ 程度が普通であるが、第二エッチング工程においては、第一導電型クラッド層24のすべてと、バッファ層22の一部までをエッチングすることが必要なことから、 $1\mu\text{m}$ 以上となることが多く、例えば $1\sim 5\mu\text{m}$ の範囲、または $3\mu\text{m}$ 以上の範囲、例えば $3\sim 7\mu\text{m}$ の範囲となることがある。場合によっては、 $3\sim 10\mu\text{m}$ の範囲、さらには $10\mu\text{m}$ を越えることもある。しかし、基板に達するまでエッチングする場合に比べ、エッチング深さを短くできる利点がある。そのため、発光ユニット間分離溝12の幅を、前述のように短い幅にすることができる。

【0171】

一般に、金属マスク、 SiN_x 等の窒化物マスク、 SiO_x 等の酸化物マスク等は、 Cl_2 系プラズマに対するエッチング耐性を示すGaN系材料に対する選択比は5程度であって、膜厚の厚いGaN系材料をエッチングする必要がある第二エッチング工程を実施するには、比較的厚めの SiN_x 膜が必要となってしまう。たとえば第二ドライエッチング工程で $4\mu\text{m}$ のGaN系材料をエッチングする最には、 $0.8\mu\text{m}$ を越える SiN_x マスクが必要となってしまう。しかし、この程度の厚みの SiN_x マスクになると、ドライエ

ッチング実施中に SiN_x マスクもエッチングされてしまい、その縦方向の厚みのみではなく水平方向の形状も変ってしまい、所望の GaN 系材料部分のみを選択的にエッチングすることができなくなってしまう。

【0172】

そこで、第二エッチング工程において発光ユニット間分離溝を形成する際には、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。金属フッ化物層を構成する材料は、ドライエッチング耐性とウェットエッチング性のバランスを考慮すると、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrF_2 、 BaF_2 、 AlF_3 が好ましく、この中でも SrF_2 が最も好ましい。

【0173】

金属フッ化物膜は、第一、第二、第三エッチング工程で行うドライエッチングに対しては十分な耐性があり、一方でパターニングのためのエッチング（好ましくはウェットエッチング）に対しては、容易にエッチング可能でかつパターニング形状、特に側壁部分の直線性の良いものが求められる。金属フッ化物層の成膜温度を 150°C 以上にすることで、下地との密着性に優れ、緻密な膜が形成され、同時にエッチングによってパターニングした後に、マスク側壁の直線性にも優れている。成膜温度は、好ましくは 250°C 以上、さらに好ましくは 300°C 以上、最も好ましくは 350°C 以上である。特に 350°C 以上で成膜された金属フッ化物層は、あらゆる下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性に非常に優れ、開口部の幅の制御性も確保されるようになり、エッチングマスクとして最も好ましい。

【0174】

このように、下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性と開口部の幅の制御性に非常に優れたエッチングマスクとするためには、高温で成膜することが好ましいが、一方、成膜温度が高すぎると、金属フッ化物をパターニングする際に好ましく実施される塩酸等に対するウェットエッチングに対する耐性が必要以上になり、その除去が容易でなくなる。特に、後述するように SrF_2 等のマスクは半導体層のドライエッチング時に塩素等のプラズマにさらされると、その後に実施するマスク層の除去時のエッチングレートが、塩素等のプラズマにさらされる前に比較して低下する傾向を有している。このため、金属フッ化物の過剰な高温での成膜はそのパターニングと最終除去の観点から好ましくない。

【0175】

まず半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされる前の金属フッ化物にあっては、低温成膜した層ほど塩酸等のエッチャントに対するエッチングレートが大きくエッチングが速く進行し、成膜温度を高くするほどエッチングレートが低下し、エッチングの進行が遅くなる。成膜温度が 300°C 以上になると、成膜温度が 250°C 程度の膜よりエッチングレートの低下が目立ってくるが、 350°C から 450°C 程度では、非常に都合の良いエッチング速度の範囲にある。しかし、成膜温度が 480°C を超えるとエッチング速度の絶対値が必要以上に小さくなり、当該金属フッ化物のパターニングに過剰な時間を費やすこととなり、また、レジストマスク層等が剥離しない条件でのパターニングが困難になる事もある。さらに、半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされた後の金属フッ化物にあっては、除去時の塩酸等に対するウェットエッチングレートは低下する性質があり、過剰な高温成長は金属フッ化物の除去を困難にしてしまう。

【0176】

このような観点から、金属フッ化物層の成膜温度は、好ましくは 480°C 以下であり、さらに好ましくは 470°C 以下、特に好ましくは 460°C 以下である。

【0177】

このようなことに配慮してパターニングされたマスク（金属フッ化物層が表面層になるように SiN_x 、 SiO_2 などと積層されていてよい）を用いて、ドライエッチングを行う。ドライエッチングのガス種としては、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およ

びこれらの組み合わせから選ばれるものが望ましい。ドライエッチングの際に、 SrF_2 マスクの GaN 系材料に対する選択比は 100 を越えるため、厚膜 GaN 系材料のエッチングが容易に、かつ、高精度に行うことができる。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能な ICP 型のドライエッチングが最適である。

【0178】

エッチング後に、不要となった金属フッ化物層のマスクを、塩酸等のエッチャントで除去する際に、金属フッ化物マスクの下に酸に弱い材料が存在する場合、例えば電極材料が酸に弱い場合には、金属フッ化物層が表面層になるようにして SiN_x 、 SiO_2 などとの積層マスクとしてもよい。この場合、 SiN_x 、 SiO_2 等は、金属フッ化物マスク層の下部の全体に存在していてもよいし、または例えば図 1-21 に示すように、 SiN_x 、 SiO_2 等マスク 51 は、金属フッ化物マスク層 52 の下部の全体に存在していなくても、少なくとも酸に弱い材料上に形成されていればよい。

10

【0179】

このような第二エッチング工程により、図 1-8 に示すように、発光ユニット間分離溝が形成される。

【0180】

次に、図 1-9 に示すように、装置間分離溝 13 を、第三エッチング工程により形成する。第三エッチング工程では、エッチングすべき GaN 系材料の厚みは、バッファ層をすべてエッチングすることが必要なことから、第二エッチング工程と比較しても、極めて深く、5~10 μm となることがあり、また 10 μm を超えることもある。そのため、第二エッチング工程で説明したと同様に、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。その好ましい条件等（積層マスク等も含む）は、第二エッチング工程について説明したとおりである。

20

【0181】

装置間分離溝は、少なくとも第一導電型クラッド層を分断して形成されていることが必要である。タイプ A の好ましい形態の 1 つでは、図 1-9 に示すように、装置間分離溝 13 が基板 21 に到達するように形成される。この場合には、装置を分離するために、スクライプ、プレーキング等の工程において、薄膜結晶層が形成されている側からダイヤモンドスクライプを実施した際にも、サファイア基板上の GaN 系材料の剥離を抑制することが可能である。またレーザスクライプを実施した場合にも、薄膜結晶層にダメージが入らない利点がある。さらに、サファイア基板（GaN 等の他の基板でも同じ）の一部までエッチングして装置間分離溝を形成することも同様に好ましい。

30

【0182】

一方、装置間分離溝が、基板に達していない形態も好ましい形態である。例えば、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されていれば、第一導電型クラッド層の側壁に絶縁層を形成することができて、ハンダ等の回りこみに対して絶縁性を保つことができる（発光装置完成後の形態は、図 1-17~図 1-20 を参照。）。この場合、絶縁層で被覆されずに側壁から露出する層は、高い絶縁性を有することが好ましい。装置間分離溝を、バッファ層の途中まで形成する形態では、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時実施することも可能になるので、工程を簡略化できる利点がある。

40

【0183】

なお、第一エッチング工程、第二エッチング工程および第三エッチング工程は、いずれの工程を先に実施しても、後に実施してもかまわない。また、プロセスを簡略にするため、第一エッチング工程を先に実施し、その際のエッチングマスクを除去しないで、第二エッチングおよび／または第三エッチング工程を実施することも好ましい。図 1-21 に示すように、まず SiN_x 、 SiO_2 等の酸に強い材料（好ましくは SiN_x ）により第一エッチングマスク 51 を形成し、第一導電型クラッド層 24 が現れるようにエッチングし、マスク 51 を除去しないで、金属フッ化物層による第二および／または第三エッチングマスク 52 を形成する。そして、第二および／または第三エッチング工程を実施した後、マスク 52 を酸により除去し、その後、マスク 51 を適宜除去することが好ましい。第一

50

エッチングマスク 51 は、第二エッチング工程と第三エッチング工程が別々に実施される場合にも、両方のエッチングが終了するまで存在させることもできる。

【0184】

形成される装置分離溝間の最も狭い部分の幅を $2L_{WSP T 1}$ とすると、 $L_{WSP T 1}$ はブレーキングによって素子分離を行う際には、 $20\mu m$ 以上、例えば $30\mu m$ 以上であることが望ましい。また、ダイシング等によって実施する際には、 $L_{WSP T 1}$ は $300\mu m$ 以上であることが望ましい。また、大きすぎても無駄であるので、 $L_{WSP T 1}$ は通常は $2000\mu m$ 以下である。これは、素子作製プロセスのマージンと、さらには、スクライプ領域の確保のために必要であるからである。

【0185】

第三エッチング工程の後には、図 1-10 に示すように、絶縁層 30 を形成する。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、適宜選択することができ、詳細は前述のとおりである。成膜方法は、プラズマ CVD 法等の公知の方法を用いればよい。

【0186】

次に、図 1-11 に示すように、絶縁層 30 の所定部分を除去し、第二導電型側電極 27 上で絶縁層が除去された第二導電型側電極露出部分 37、第一導電型クラッド層上で絶縁層が除去された第一電流注入領域 36、装置間分離溝 13 内で絶縁層が除去されたスクライプ領域 14 を形成する。第二導電型側電極 27 上の絶縁層 30 の除去は、第二導電型側電極の周辺部分が絶縁層によって覆われているように実施することが望ましい。すなわち第二導電型側電極露出部分の表面積は第二電流注入領域の面積よりも小さいことが望ましい。ここで、素子作製プロセス、特にフォトリソグラフィ工程のマージン、あるいは、ハンダ材による意図しない短絡等の発生を防止するためには、第二導電型側電極の周辺から絶縁層で覆われている幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{2W} とすると、 L_{2W} は $15\mu m$ 以上であることが好ましい。さらに好ましくは $30\mu m$ 以上、特に好ましくは $100\mu m$ 以上である。絶縁層によって第二導電型側電極の面積の多くが覆われることによって、特に、金属ハンダ材によるたとえば第一導電型側電極等の他の部分との意図しない短絡を低減することができる。また、 L_{2W} は、通常 $2000\mu m$ 以下であり、好ましくは $750\mu m$ 以下である。

【0187】

絶縁層の除去は、選択された材質によってドライエッチング、ウェットエッチング等のエッチング手法が選択可能である。たとえば、絶縁層が SiN_x 単層である場合には、 SF_6 等のガスを用いたドライエッチングも、あるいはフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチングも可能である。また、絶縁層が SiO_x と TiO_x からなる誘電体多層膜である場合には、 Ar イオンミリングによって所望の部分の多層膜を除去することも可能である。

【0188】

また、第二導電型側電極露出部分 37、第一電流注入領域 36、およびスクライプ領域 14 の形成は、別々に行ってもよいが、通常は同時にエッチングで形成する。スクライプ領域 14 (図 1-2) の幅を $2L_{ws}$ とすると、 $2L_{ws}$ は $30\mu m$ 以上が好ましい。また、大きすぎても無駄であるので、 $2L_{ws}$ は、通常 $300\mu m$ 以下、好ましくは $200\mu m$ 以下である。

【0189】

尚、タイプ A の異なる形態 (図 1-3、図 1-4 に対応する) では、図 1-12 に示すように、装置間分離溝内の基板近傍の側壁部分の絶縁層をも除去し、絶縁層非形成部分 15 を設ける。この溝側壁の絶縁層の一部の同時除去は、たとえば、以下の様なプロセスで形成が可能である。装置間分離溝 13 の面積とほぼ同等か少し小さめの開口を有するレジストマスクをフォトリソグラフィによって形成し、次に、絶縁層をエッチング可能なエッチャントを用いてウェットエッチングを実施すると、装置間分離溝内の基板面上の絶縁層の除去が進む。その後、さらに長時間エッチングを継続するとサイドエッチングが起こり、溝側壁の基板側を覆っていた絶縁層がウェットエッチャントで除去され、図 1-12

10

20

30

40

50

に示したように装置間分離溝の基板側に絶縁層が存在しない形状が得られる。このように絶縁層を除去する場合においては、絶縁層が存在しない薄膜結晶層の側壁は、アンドープ層の側壁であることが望ましい。これは、フリップチップマウントを実施する際に、万が一、サブマウントとの接合用ハンダ等が側壁に付着しても、意図しない電氣的短絡が発生しないためである。

【0190】

タイプAでは、図1-11および図1-12のどちらの形態でも、マウント時の意図しない電氣的短絡等を防止できる。通常は、図1-11のように、基板上で絶縁層が存在しないスクライプ領域14を形成する形態で十分である。尚、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成される場合にも、上記のプロセスで絶縁膜を堆積するときに、基板面でなく溝底面に堆積される点異なるが、同一のプロセスを採用することができる。

10

【0191】

次に、図1-13、図1-14に示すように、第一導電型側電極28を形成する。図1-13および図1-14は、それぞれ図1-11および図1-12の構造に対して、第一導電型側電極28を形成した構造を示す。電極材料としては、すでに説明したとおり、第一導電型がn型であるとする、Ti、AlおよびMoのいずれかから選択される材料、またはすべてを構成元素として含むことが望ましい。また、n側電極の第1の光取り出し方向とあい対する向きには、Alが露出するのが普通である。

【0192】

電極材料の成膜には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、電極形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。ここで、形成プロセスにおけるマージンをある程度見込むために、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{1w} とすると、 L_{1w} は $7\mu\text{m}$ 以上が好ましく、特に $9\mu\text{m}$ 以上が好ましい。また、 L_{1w} は、通常 $500\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $100\mu\text{m}$ 以下である。通常、 $5\mu\text{m}$ 以上があれば、フォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によるプロセスマージンは確保できる。

20

【0193】

第一導電型側電極は、この例では、第一導電型クラッド層にその一部が接して形成されるが、第一導電型側コンタクト層が形成されるときはそれに接するように形成することができる。

30

【0194】

本形態の製造方法では、第一導電型側電極が、積層構造形成の最終段階にて製造されることにより、プロセスダメージ低減の観点でも有利である。第一導電型がn型である場合には、n側電極は、好ましい形態では、Alがその電極材の表面に形成される。この場合に、n側電極が第二導電型側電極のように絶縁層の形成よりも前になされると、n側電極表面、すなわちAl金属は、絶縁層のエッチングプロセスを履歴することになる。絶縁層のエッチングには、前述のとおりフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチング等が簡便であるが、Alはフッ酸を含めた各種エッチャントに対する耐性が低く、このようなプロセスを実効的に実施すると電極そのものにダメージが入ってしまう。また、ドライエッチングを実施してもAlは比較的反応性が高く酸化を含めたダメージが導入される可能性がある。従って、本形態においては、第一導電型側電極の形成が絶縁層の形成後かつ絶縁層の予定されている不要部分の除去後に行われることは、電極に対するダメージの低減に効果がある。

40

【0195】

このようにして、図1-13（図1-2）または図1-14（図1-4）の構造が形成された後には、各集積型化合物半導体発光装置を1つ1つ分離するために、装置間分離溝を使用して、基板対してダイヤモンドスクライプによる傷いれ、レーザスクライプによる基板材料の一部のアブレーションが実施される。

【0196】

50

装置間分離工程の際に、装置間分離溝に一切の薄膜結晶層がない場合（図１－１３および図１－１４の構造がこれに相当する）には、薄膜結晶層へのプロセスダメージの導入がない。また、図１－１３および図１－１４のように、スクライプ領域に絶縁層も存在しない場合には、スクライプ時に、絶縁層の剥離等が生じる可能性もない。

【０１９７】

また、装置間分離溝は、バッファ層の途中まで溝が形成されている場合（例えば、発光ユニット間分離溝と同等の深さで）もあるが、この場合にも、装置間分離溝を使用して、基板に対してのダイヤモンドスクライプによる傷いれ、レーザスクライプによる基板材料の一部のアブレーションが実施される。

【０１９８】

傷入れ（スクライプ）が終了した後は、集積型化合物半導体発光装置はブレーキング工程において、１装置ずつに分割され、好ましくはハンダ材料等によってサブマウントに搭載する。

【０１９９】

さらに必要により、発光装置内の各発光ユニットの接続を金属配線により適宜行う。

【０２００】

以上のようにして、図１－１および図１－３に示した集積型化合物半導体発光装置が完成する

【０２０１】

タイプＡの形態における製造方法では、面光源的な発光に有利な構造を効果的に製造できることに加えて、説明のとおり薄膜結晶層の形成、第二導電型側電極の形成、エッチング工程（第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程）、絶縁層の形成、絶縁層の除去（第二導電型側電極露出部分および第一電流注入領域の形成や装置間分離溝近傍の絶縁層の除去）、第一導電型側電極の形成は、この順に実施されることが望ましく、この工程順により、第二導電型側電極直下の薄膜結晶層のダメージがなく、また第一導電型側電極にもダメージのない発光装置を得ることができる。そして、装置形状はプロセスフローを反映したものとなっている。即ち、発光装置は、第二導電型側電極、絶縁層、第一導電型側電極がこの順番に積層された構造を内在している。つまり、第二導電型側電極は、第二導電型クラッド層（またはその他の第二導電型薄膜結晶層）に絶縁層を介在しないで接しており、第二導電型側電極の上部周辺には絶縁層で覆われた部分があり、第一導電型側電極と第一導電型クラッド層（またはその他の第一導電型薄膜結晶層）の間には、電極周囲部分に絶縁層が介在している部分が存在している。

【０２０２】

<< ２－２．タイプＢの形態の特徴 >>

タイプＢの集積型発光装置、およびその製造方法の特徴は次の事項で特定される。

【０２０３】

１． 発光波長に対して透明な基板と、この基板上に形成された複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、前記基板上に、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを有し、

第１の光取り出し方向が前記基板側であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第１の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記基板と前記第一導電型半導体層の間に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されており、

１つの発光ユニット内には、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも１個の前記第一導電型側電極と

10

20

30

40

50

が設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通していること

を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0204】

2. 前記バッファ層が、薄膜結晶成長により形成された層であることを特徴とする上記1記載の発光装置。

【0205】

3. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記1または2記載の発光装置。

【0206】

4. 前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記1～3のいずれかに記載の発光装置。

【0207】

5. 前記バッファ層が複数の層の積層構造であることを特徴とする上記1～4のいずれかに記載の発光装置。

【0208】

6. 前記発光ユニット間分離溝の幅が、 $2 \sim 300 \mu\text{m}$ の範囲である上記1～5のいずれかに記載の発光装置。

【0209】

7. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝内のスクライプ領域から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層の途中まで形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0210】

8. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝内のスクライプ領域から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記基板まで達して形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0211】

9. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝内のスクライプ領域から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記基板の一部を除去して形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0212】

10. 前記発光ユニット間分離溝内の底面および側面の全面を被覆し、前記発光装置の側面に露出した層のうち、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層の側面を被覆し、前記第一導電型側電極の第1の光取り出し方向側の一部に接し、前記第二導電型側電極の第1の光取り出し方向と反対側の一部を覆っている絶縁層を有することを特徴とする上記1～9のいずれかに記載の発光装置。

【0213】

11. 前記絶縁層が、前記装置間分離溝の側面に露出した層のすべてを被覆していることを特徴とする上記10記載の発光装置。

【0214】

12. 前記スクライプ領域として、前記装置間分離溝内の溝底面に、前記絶縁層で覆われていない領域が設けられている上記11記載の発光装置。

【0215】

13. 前記絶縁層が、前記装置間分離溝内の前記溝底面には形成されておらず、かつ前記装置間分離溝の側面に露出した層のうち、前記溝底面側から導電性を有さない層の少なくとも一部までには形成されていないことを特徴とする上記10記載の発光装置。

【0216】

14. 前記薄膜結晶層が、V族として窒素原子を含むIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする上記1～13のいずれかに記載の発光装置。

【0217】

10

20

30

40

50

15. 前記活性層構造が、量子井戸層とバリア層からなり、バリア層の数をB、量子井戸層の数をWで表したとき、BとWが、

$$B = W + 1$$

を満たすことを特徴とする上記1～14のいずれかに記載の発光装置。

【0218】

16. 前記基板が、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃およびMgOからなる群より選ばれることを特徴とする上記1～15のいずれかに記載の発光装置。

【0219】

17. 前記絶縁層が、複数の層からなる誘電体多層膜であることを特徴とする上記10～13のいずれかに記載の発光装置。

【0220】

18. 前記基板の第1の光取り出し方向側の表面が平坦でないことを特徴とする上記1～17のいずれかに記載の発光装置。

【0221】

19. 前記バッファ層から基板側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が基板で反射される反射率をR₃、前記基板から第1の光取り出し方向側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率をR₄で表したとき、

$$R_4 < R_3$$

を満たすように基板の第1の光取り出し方向側に低反射光学膜を有することを特徴とする上記1～18のいずれかに記載の発光装置。

【0222】

20. 第一導電型がn型であり、第二導電型がp型であることを特徴とする上記1～19のいずれかに記載の発光装置。

【0223】

21. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、ハンダによって金属面を有するサブマウントに接合されていることを特徴とする上記1～20のいずれかに記載の発光装置。

【0224】

22. 複数の発光ユニットを同一基板上に有する集積型化合物半導体発光装置の製造方法であって、

発光波長に対して透明な基板上に、バッファ層を成膜する工程と、

少なくとも、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する薄膜結晶層を成膜する工程と、

前記第二導電型半導体層の表面に第二導電型電極を形成する工程と、

前記第一導電型半導体層の一部を表面に露出させるとともに、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む発光ポイントを複数個形成するために、前記第二導電型半導体層および前記活性層構造を複数の領域に分断する第一エッチング工程と、

前記第一エッチング工程により露出した第一導電型半導体層の面に、少なくとも1個の第一導電型電極を形成する工程と、

前記発光ユニットを互いに電氣的に分離するための発光ユニット間分離溝を形成するために、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部までを除去する第二エッチング工程と、

複数の発光装置に分離するための装置間分離溝を形成するために、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層を除去する第三エッチング工程とを有することを特徴とする集積型化合物半導体発光装置の製造方法。

【0225】

23. 前記バッファ層の成膜工程を、前記薄膜結晶層の成膜工程の一部として、かつ前記第一導電型半導体層の形成に先立って行うことを特徴とする上記22記載の方法。

10

20

30

40

50

【0226】

24. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記22または23記載の方法。

【0227】

25. 前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記22～24のいずれかに記載の方法。

【0228】

26. 前記バッファ層を、複数の層の積層構造として成膜することを特徴とする上記22～25のいずれかに記載の方法。

【0229】

27. 前記第三エッチング工程を、前記第二エッチング工程と同時にまたは別に行い、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行うことを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0230】

28. 前記第三エッチング工程において、前記基板表面に達するまでエッチングを行うことを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0231】

29. 前記第三エッチング工程において、前記基板の一部も除去するようにエッチングを行うことを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0232】

30. 前記第二および第三エッチング工程が、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およびそれらの2種以上の組み合わせからなる群より選ばれるガス種を用いたドライエッチングで行われることを特徴とする上記22～29のいずれかに記載の方法。

【0233】

31. エッチングマスクとして、パターニングされた金属フッ化物層を用いることを特徴とする上記30記載の方法。

【0234】

32. 前記金属フッ化物層が、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれることを特徴とする上記31記載の方法。

【0235】

33. 前記第二導電型電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型電極を形成する工程をこの順番に行い、前記第一導電型電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程を有することを特徴とする上記22～32のいずれかに記載の方法。

【0236】

34. 前記絶縁層を形成する工程が、第一～第三エッチング工程の後に行われることを特徴とする上記33記載の方法。

【0237】

35. 前記第二導電型電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去し、スクライブ領域を形成する工程

を有することを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

10

20

30

40

50

【0238】

36. 前記第二導電型電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層のすべてと、前記装置間分離溝の側壁に形成された絶縁層のうち、前記溝底面側の一部を除去する工程と

を有することを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

10

【0239】

37. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記35記載の方法。

【0240】

38. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記36記載の方法。

【0241】

39. さらに、複数の発光装置に分離する工程と、前記第一導電型電極および第二導電型電極を、サブマウント上の金属層に接合する工程とを有することを特徴とする上記22～38記載の方法。

20

【0242】

40. 前記接合をハンダで行うことを特徴とする上記39記載の方法。

【0243】

タイプBの形態によれば、大面積の面光源的発光に適した構造を有する集積型化合物半導体発光装置およびその製造方法を提供することができる。

【0244】

特に、発光装置の面積が数 cm^2 を越える場合であっても、発光強度の均一性の高い面的な青色または紫外発光が可能である。また、タイプBの形態は、フリップチップ型であって、サブマウントに搭載できるために、十分な放熱性と高い光取出し効率を確保することができる。

30

【0245】

タイプBの形態では、発光ユニット間分離溝が、バッファ層を含めた全ての層が除去されて形成されているのではないので、隣接発光ユニット同士を、電気的には分離しながら近接させることができる。そのため、集積密度の向上および面光源的発光に非常に有利である。また、1箇所の劣化が、装置全体に影響を及ぼさないことで信頼性の観点でも優れる。さらに、発光ユニット間に共通する、電気的に十分高抵抗なバッファ層の一部まで発光ユニット間分離溝を形成するだけでよいため、基板に到達するほど深くエッチングしなければならぬなどの制約を考慮することなしに、十分に厚いバッファ層を用いることも可能であって、このために発光素子部分の結晶性をより良好にすることも可能であって、発光装置の高出力化の観点で望ましい。また、エッチング時間も短時間で済むなどの観点でも望ましい。

40

【0246】

また、タイプBの形態における発光装置は、電気的に結合している発光ポイントのみの集積ではなく、電気的には分離された発光ユニットの中に適切な数の発光ポイントを有する点に特徴がある。すなわち、発光装置全体が電気的に結合している発光ポイントのみによって形成されている場合には、1つの発光ポイントの劣化は、装置全体の電流注入経路を変化させ、発光装置全体の発光強度の均一性などにその影響が出てしまう。しかし、1

50

つの発光ユニット内に適切な数の複数の発光ポイントを有する際には、その劣化の電氣的影響は、当該発光ユニット内に限定されるため望ましい。

【0247】

以下、タイプBの形態による集積型発光装置およびその製造方法をさらに詳細に説明する。

【0248】

図2-1に、タイプBの形態の集積型化合物半導体発光装置（以下、単に発光装置という）の1例を示す。また、図2-1の発光装置の構造を詳細に説明するために、作製途中の形状を示す図2-2も参照しながら説明する。ここでは、図2-1、図2-2に示すように、1つの発光ユニット11の中に3つの発光ポイント17が存在し、4つの発光ユニット11によって1つの発光装置10を構成する例を示している。しかし、1つの発光ユニット11の中に存在する発光ポイントの個数および発光ユニットの集積の個数は特に限定はなく、提供される一つの基板内で適宜個数を設定可能である。発光ユニット11の集積の個数は、例えば2個でもよく、また、500個を越える個数を集積してもかまわない。発光装置10における発光ユニット11の好ましい数は、トータルの発光ポイント17の数で25~10000個であり、また発光ユニット11が2次元的に配列されていることも好ましい。また、一つの発光ユニット内に存在する発光ポイントの数にも特に限定はなく、例えば2個でもよく、また、500個を越える個数を集積してもかまわない。ここで、好ましくは5~100個であり、さらに好ましくは10個~50個であり、2次元的に配列されていることも好ましい。

【0249】

タイプBの形態において、1つの発光ユニットは、図に示すように基板21上に、少なくとも、第一導電型クラッド層24を含む第一導電型半導体層、第二導電型クラッド層26を含む第二導電型半導体層、および前記第一および第二導電型半導体層の間に挟まれた活性層構造25を有する化合物半導体薄膜結晶層、第二導電型側電極27、並びに第一導電型側電極28を有する。図のように発光ユニット間分離溝12は、集積型化合物半導体発光装置10内の発光ユニット11を区画しているが、基板21およびバッファ層22は、発光ユニット間に共通して設けられている。

【0250】

この例では、第二導電型クラッド層26の表面の一部に、第二導電型側電極27が配置され、第二導電型クラッド層26と第二導電型側電極27の接触している部分が第二電流注入領域35となっている。また、第二導電型クラッド層、活性層構造の一部、第一導電型クラッド層の一部が除去された構成となっており、除去した箇所に露出する第一導電型クラッド層24に接して、第一導電型側電極28が配置されることで、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28が、基板に対して同じ側に配置されるように構成されている。その際、タイプBの形態では、1つの発光ユニットの中で、活性層構造25および第二導電型半導体層（第二導電型クラッド層26を含む）は分断されて、それぞれ独立して発光できる発光ポイント17を構成しており、第一導電型半導体層は発光ユニット中で共通して存在する。第二導電型側電極27は、発光ポイント17に1個ずつ設けられている。また、第一導電型側電極28は、1つの発光ユニットの中に少なくとも1つが存在すればよいが、発光ポイントの数に対応して設けてもよい。また、第一導電型側電極28の数は、1つの発光ユニット内の発光ポイントよりも多く存在してもかまわない。しかし、タイプBの形態においては、特にこのましく実施される第二導電型側電極がp型電極である場合に、第二導電型側電極の数または面積が、第一導電型側電極の数または面積よりも、多いかまたは広いことが望ましい。これは、1つの発光ユニットの中で、実質的な発光に寄与する部分が第二導電型側電極の下（あるいは見方によっては上）に存在する活性層構造内の量子井戸層だからである。従って、1つの発光ユニット内における第二導電型側電極の数または面積が第一導電型側電極の数または面積よりも、相対的に多いかまたは広いほうが好ましい。また、後述する電流注入領域での関係では、第二電流注入領域の数または面積が、第一電流注入領域の数または面積よりも多いかまたは広いことが望ましい。また

、電極の関係、電流注入領域の關係のいずれも上記を満たすことが最も望ましい。

【0251】

タイプBの形態では、発光ポイント17は、発光ユニット11内で第一導電型半導体層で電氣的に導通しており、発光ユニット11は、互いに発光ユニット間分離溝12により電氣的には分離されている。即ち、発光ユニット間分離溝12は、薄膜結晶層中の導電性の高い層を分断しており、少なくともバッファ層22まで、好ましくは図2-1に示すようにバッファ層の途中まで除去されているために、発光ユニット間で実質的な電氣的結合はない。詳細は後述するが、バッファ層のうちで少なくとも第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）に直接接触している部分は実質的に絶縁性である。

【0252】

また、タイプBの形態では、発光ユニット間分離溝の幅が、好ましくは2～300μm、さらに好ましくは5～50μm、最も好ましくは8～15μmである。タイプBの形態では、特に後述する製造方法とあいまって、発光ユニット間分離溝の幅を短くすることが可能であり、面光源に適した集積化が可能になる。

【0253】

さらにタイプBの形態では、その上に形成される素子構造を電氣的に構成する層（pn接合やpin接合、金属・半導体接合等を形成）の結晶性をより良好にするために、バッファ層の全厚みは、好ましくは4～20μm、さらに好ましくは4.5～10μm、最も好ましくは5～8μmである。

【0254】

図2-2には、同一基板上に、中央の発光装置10に隣接する別の発光装置も一部図示されており、それぞれの発光装置10は、装置間分離溝13によって分離されている。装置間分離溝13の中のスクライプ領域14で、スクライプしプレーキングして、各発光装置を分離して、サブマウント40上の金属面41に、金属ハンダ42を介して第二導電型電極27および第一導電型電極28をそれぞれ接続して、図2-1に示すような発光装置が得られる。

【0255】

装置間分離溝は、この例では、基板に達するまで薄膜結晶層を除去して形成されており、好ましい形態の1つである。しかし、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている形態も好ましく、また、基板の一部を除去して形成されている形態も可能である。これらの場合のいずれも、バッファ層よりも活性層構造側にある導電性の高い層の側壁に絶縁層を容易に形成できる。いずれの場合も、装置分離溝内のスクライプ領域にて分割して、1つ1つの発光装置に分離される。

【0256】

タイプBの形態の発光装置では、絶縁層30は、薄膜結晶層22～26の表面、側壁等を含んだ露出部分の大部分を覆っているが、図2-1の発光装置の側壁部分、即ち発光装置が分離されていない図2-2の状態における装置間分離溝13中の絶縁層形状は、いくつかの形態が可能である。いずれの形態においても、発光装置を分離する前に、発光装置を区画する装置間分離溝13中に、絶縁層が存在しない部分が存在することが好ましい。そして、絶縁膜が存在しない部分から、発光装置間を分離することが好ましい。その結果、タイプBの形態の発光装置の好ましい形状では、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない。絶縁層の好ましい形態の具体例を次に示す。

【0257】

タイプBの1形態においては、図2-2に示すように、絶縁層30が装置間分離溝13の溝内の表面の全てを覆うのではなく、基板面（即ち、溝底面）と接している部分に絶縁層30が形成されていないスクライプ領域14が形成されている。このため装置間分離の際に薄膜結晶層にダメージを与えることがなく、また絶縁層の剥がれ等が生じないので好ましい。その結果得られる発光装置では、図2-1のA部分に示すように、絶縁層30が基板末端まで達していない。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれがないことが保証される結果、仮にハンダの回り込みがあっても、発光装置の機能が損なわれること

10

20

30

40

50

がなく信頼性の高い装置となる。

【0258】

また、タイプBの異なる形態においては、図2-4に示すように、絶縁層30が基板面（即ち、溝底面）と基板に近接する溝側壁部分で形成されていない絶縁層非形成部分15が存在する。この構造も、装置間分離の際に絶縁層の剥がれ等が生じないので好ましい。得られる発光装置では、図2-3のB部分に示すように、絶縁層30が基板面まで達していない絶縁層非形成部分15が存在する。この図では、バッファ層22の壁面の一部までが露出しているが、露出している部分は、ドーピングされていないアンドープ層であることが好ましい。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれがないことが保証され、また露出しているのが絶縁性の高い材料であれば、図2-1の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。また、基板の一部までエッチングして装置間分離溝を形成した場合には、溝の壁面のうち、基板部分のみが露出し、バッファ層が絶縁層で被覆されている場合がある。

10

【0259】

また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合には、次のような形状の発光装置が得られる。例えば図2-17および図2-18に示すように、発光装置端までバッファ層22が存在し、バッファ層には、装置間分離溝の底面に基づく段差が存在しており、バッファ層の側壁は、絶縁層で覆われていない部分（装置端部分）と、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）とを有する。バッファ層22の端は、図2-17および図2-18では、基板端面と一致しているが、分離方法によっては、基板21より内側に入ることも、基板21より外側に出ることもある。絶縁層30は、図2-17の例では、図2-17中にC部分で示すように、バッファ層22の端から離れた溝底面の位置から、分離溝底面部分と、分離溝の側壁部分とを被覆している。これは、図2-1および図2-2において、装置間分離溝をバッファ層22の途中でとめた形態に対応する。また、図2-18の例は、図2-3および図2-4において、装置間分離溝をバッファ層22の途中で止めた形態に対応し、図2-18のD部分に示すように、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、第1の光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する。

20

【0260】

また、装置間分離溝の深さは、バッファ層の途中の任意の位置に設定することが可能である。図2-17および図2-18において、装置間分離溝の深さを変更した例を、それぞれ図2-19および図2-20に示す。図2-19中のE部分、図2-20中のF部分の形状は、それぞれ図2-17のC部分、図2-18のD部分と同じである。

30

【0261】

これらの例のように、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合にも、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない形状ができている装置は、絶縁層の剥がれがないことが保証され、また露出している層を絶縁性の高い材料で構成することにより、図2-1、図2-3の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。

【0262】

さらに、本形態の発光装置では、絶縁層30が図2-1のように、第一導電型側電極28の第1の光取り出し方向側の一部に接していること、即ち、第一導電型側電極28と第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）とのコンタクト部分の周囲に絶縁層が介在している部分があること、および第二導電型側電極27の第1の光取り出し方向と反対側の一部を覆っていること、即ち、第二導電型側電極27と第二導電型半導体層（図では第二導電型クラッド層26）の間には絶縁層が存在せずに第二導電型側電極27の周囲に被覆している部分があることが好ましい。この形態は、第二導電型側電極27が形成された後に絶縁層30が形成され、絶縁層30が形成された後に第一導電型側電極28が形成されたことを意味する。このような順序による製造方法は、後述するが、第二導電型クラッド層26等の第二導電型半導体層にダメージが少なく、また第一導電型側電極のダメージが少ないために、高効率の発光装置が得られる。即ち、このような構造を有する

40

50

発光装置は、高効率を示すことを意味する。

【0263】

さらに、第二導電型側電極27の大きさは、第二電流注入領域35と同じであるが、第二導電型側電極の露出面37（第二導電型側電極露出部分）は、第二電流注入領域35の大きさよりも小さいことが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層24の表面を覆う絶縁層30の一部に、第一導電型側電極28が第一導電型クラッド層24と接触するための開口が設けられ、それが、第一電流注入領域36となる。第一導電型側電極28の面積を、第一電流注入領域よりも大きくすることが好ましい。

【0264】

また、第二導電型側電極と第一導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことも望ましい。

10

【0265】

以下に、装置を構成する各部材と構造についてさらに詳細に説明する。

【0266】

<基板>

タイプBの形態における基板は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0267】

<バッファ層>

タイプBの形態におけるバッファ層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

20

【0268】

<第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層>

タイプBの形態における第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0269】

<活性層構造>

タイプBの形態における活性層構造は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0270】

30

<第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層>

タイプBの形態における第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0271】

<第二導電型側電極>

タイプBの形態における第二導電型側電極は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0272】

<第一導電型側電極>

タイプBの形態における第一導電型側電極は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

40

【0273】

<絶縁層>

タイプBの形態における絶縁層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0274】

<サブマウント>

タイプBの形態におけるサブマウントは、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0275】

50

〔タイプBの形態の発光装置の製造方法〕

次に、タイプBの形態の集積型化合物半導体発光装置の製造方法について説明する。

【0276】

タイプBの形態の発光装置の製造方法の1例では、図2-6に示すように、まず基板21を用意し、その表面にバッファ層22、第一導電型クラッド層24、活性層構造25および第二導電型クラッド層26を薄膜結晶成長により順次成膜する。これらの薄膜結晶層の形成には、MOCVD法が望ましく用いられる。しかし、MBE法、PLD法、PED法なども全部の薄膜結晶層、あるいは一部の薄膜結晶層を形成するために用いることが可能である。これらの層構成は、素子の目的等に合わせて適宜変更が可能である。また、薄膜結晶層の形成後には、各種の処理を実施してもかまわない。なお、本明細書では、薄膜結晶層の成長後の熱処理等も含めて、「薄膜結晶成長」と記載している。

10

【0277】

薄膜結晶層成長の後、図2-1、図2-2に示された形状を実現するためには、図2-6に示すように、第二導電型側電極27を形成することが好ましい。即ち、予定されている第二電流注入領域35に対する第二導電型側電極27の形成が、絶縁層30の形成よりも、また、第一電流注入領域36の形成よりも、さらには、第一導電型電極28の形成よりも、早く実施されることが望ましい。これは、望ましい形態として第二導電型がp型である場合において、表面に露出しているp型クラッド層の表面に対して各種プロセスを経た後にp側電極を形成すると、Ga_{0.5}N_{0.5}系材料では比較的活性化率の劣るp-GaNクラッド層中の正孔濃度をプロセスダメージによって低下させてしまうからである。たとえばp-CVDによる絶縁層の形成工程を第二導電型側電極の形成より前に実施すれば、その表面にプラズマダメージが残存してしまう。このため、本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程（たとえば後述する第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程、あるいは絶縁層形成工程、第二導電型側電極露出部分形成工程、第一電流注入領域形成工程や第一導電型側電極形成工程など）よりも先に実施されることが望ましい。

20

【0278】

また、本形態においては、第二導電型がp型である場合には、前述のとおり、第二導電型側電極の表面がAuである場合が代表的な例として想定されるが、露出面がAuなどの比較的安定な金属である場合には、その後のプロセスを経ても、プロセスダメージを受ける可能性が低い。この観点からも本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程よりも先に実施されることが望ましい。

30

【0279】

なお、本形態では、第二導電型側電極が形成される層が、第二導電型コンタクト層である場合にも同様に、第二導電型半導体層に対してのプロセスダメージを低減することができる。

【0280】

第二導電型側電極27の形成には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、所望の形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。

40

【0281】

第二導電型側電極27を形成した後、図2-7に示すように、第一導電型クラッド層24の一部を露出させる。この工程は、第二導電型クラッド層26、活性層構造25、さらには第一導電型クラッド層24の一部をエッチングにより除去することが好ましい（第一エッチング工程）。この工程で、第二導電型半導体層（第二導電型クラッド層26）および活性層構造25が分断されて、活性層構造25、第二導電型半導体層（第二導電型クラッド層26）および第二導電型側電極27を有する独立した発光ポイント17の形状が形成される。第一エッチング工程においては、後述する第一導電型側電極が第一導電型のキャリアを注入する半導体層を露出することも目的であるので、薄膜結晶層に他の層、たとえば、クラッド層が2層からなる場合や、あるいはコンタクト層がある場合には、その層

50

を含んでエッチングしてもかまわない。

【0282】

第一エッチング工程では、エッチング精度があまり要求されないので、 SiN_x のような窒化物や SiO_x 等の酸化物をエッチングマスクとして Cl_2 等を用いたプラズマエッチング法による公知のドライエッチングを使用することができる。しかし、後述する第二エッチング工程、第三エッチング工程で詳細に説明するような金属フッ化物マスクを用いたドライエッチングを実施することも望ましい。特に、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれる金属フッ化物層を含むエッチングマスクを用いて、 Cl_2 、 SiCl_4 、 BCl_3 、 SiCl_4 等のガスを用いたプラズマ励起ドライエッチングによりエッチングを行うことが好ましい。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能な ICP 型のドライエッチングが最適である。

10

【0283】

ここで第二導電型側電極 27 はプラズマ CVD 等によって形成される SiN_x マスクの形成履歴、あるいは第一エッチング工程後に実施される該 SiN_x マスク除去工程を履歴するが、Au などの安定な金属が表面に形成されている場合には、第二導電型側電極が受けるプロセスダメージは少なくなる。

【0284】

次に図 2-8 に示すように、発光ユニット間分離溝 12 を、第二エッチング工程により形成する。第二エッチング工程は、第一エッチング工程と比較して、さらに深く GaN 系材料をエッチングすることが必要となる。一般に、第一エッチング工程によってエッチングされる層の総和は、 $0.5\ \mu\text{m}$ 程度が普通であるが、第二エッチング工程においては、第一導電型クラッド層 24 のすべてと、バッファ層 22 の一部までをエッチングすることが必要なことから、 $1\ \mu\text{m}$ 以上となることが多く、例えば $1\sim 5\ \mu\text{m}$ の範囲、または $3\ \mu\text{m}$ 以上の範囲、例えば $3\sim 7\ \mu\text{m}$ の範囲となることがある。場合によっては、 $3\sim 10\ \mu\text{m}$ の範囲、さらには $10\ \mu\text{m}$ を越えることもある。しかし、基板に達するまでエッチングする場合に比べ、エッチング深さを短くできる利点がある。そのため、発光ユニット間分離溝 12 の幅を、前述のように短い幅にすることができる。

20

【0285】

一般に、金属マスク、 SiN_x 等の窒化物マスク、 SiO_x 等の酸化物マスク等は、 Cl_2 系プラズマに対するエッチング耐性を示す GaN 系材料に対する選択比は 5 程度であって、膜厚の厚い GaN 系材料をエッチングする必要がある第二エッチング工程を実施するには、比較的厚めの SiN_x 膜が必要となってしまう。たとえば第二ドライエッチング工程で $4\ \mu\text{m}$ の GaN 系材料をエッチングする最には、 $0.8\ \mu\text{m}$ を越える SiN_x マスクが必要となってしまう。しかし、この程度の厚みの SiN_x マスクになると、ドライエッチング実施中に SiN_x マスクもエッチングされてしまい、その縦方向の厚みのみではなく水平方向の形状も変ってしまい、所望の GaN 系材料部分のみを選択的にエッチングすることができなくなってしまう。

30

【0286】

そこで、第二エッチング工程において発光ユニット間分離溝を形成する際には、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。金属フッ化物層を構成する材料は、ドライエッチング耐性とウェットエッチング性のバランスを考慮すると、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrF_2 、 BaF_2 、 AlF_3 が好ましく、この中でも SrF_2 が最も好ましい。

40

【0287】

金属フッ化物膜は、第一、第二、第三エッチング工程で行うドライエッチングに対しては十分な耐性があり、一方でパターニングのためのエッチング（好ましくはウェットエッチング）に対しては、容易にエッチング可能でかつパターニング形状、特に側壁部分の直線性の良いものが求められる。金属フッ化物層の成膜温度を 150°C 以上にする事で、下地との密着性に優れ、緻密な膜が形成され、同時にエッチングによってパターニングし

50

た後に、マスク側壁の直線性にも優れている。成膜温度は、好ましくは 250°C 以上、さらに好ましくは 300°C 以上、最も好ましくは 350°C 以上である。特に 350°C 以上で成膜された金属フッ化物層は、あらゆる下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性に非常に優れ、開口部の幅の制御性も確保されるようになり、エッチングマスクとして最も好ましい。

【0288】

このように、下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性と開口部の幅の制御性に非常に優れたエッチングマスクとするためには、高温で成膜することが好ましいが、一方、成膜温度が高すぎると、金属フッ化物をパターニングする際に好ましく実施される塩酸等に対するウェットエッチングに対する耐性が必要以上になり、その除去が容易でなくなる。特に、後述するように SrF_2 等のマスクは半導体層のドライエッチング時に塩素等のプラズマにさらされると、その後実施するマスク層の除去時のエッチングレートが、塩素等のプラズマにさらされる前に比較して低下する傾向を有している。このため、金属フッ化物の過剰な高温での成膜はそのパターニングと最終除去の観点から好ましくない。

【0289】

まず半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされる前の金属フッ化物にあっては、低温成膜した層ほど塩酸等のエッチャントに対するエッチングレートが大きくエッチングが速く進行し、成膜温度を高くするほどエッチングレートが低下し、エッチングの進行が遅くなる。成膜温度が 300°C 以上になると、成膜温度が 250°C 程度の膜よりエッチングレートの低下が目立ってくるが、 350°C から 450°C 程度では、非常に都合の良いエッチング速度の範囲にある。しかし、成膜温度が 480°C を超えるとエッチング速度の絶対値が必要以上に小さくなり、当該金属フッ化物のパターニングに過剰な時間を費やすこととなり、また、レジストマスク層等が剥離しない条件でのパターニングが困難になる事もある。さらに、半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされた後の金属フッ化物にあっては、除去時の塩酸等に対するウェットエッチングレートは低下する性質があり、過剰な高温成長は金属フッ化物の除去を困難にしてしまう。

【0290】

このような観点から、金属フッ化物層の成膜温度は、好ましくは 480°C 以下であり、さらに好ましくは 470°C 以下、特に好ましくは 460°C 以下である。

【0291】

このようなことに配慮してパターニングされたマスク（金属フッ化物層が表面層になるように SiN_x 、 SiO_2 などと積層されていてよい）を用いて、ドライエッチングを行う。ドライエッチングのガス種としては、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およびこれらの組み合わせから選ばれるものが望ましい。ドライエッチングの際に、 SrF_2 マスクの GaN 系材料に対する選択比は100を越えるため、厚膜 GaN 系材料のエッチングが容易に、かつ、高精度に行うことができる。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能なICP型のドライエッチングが最適である。

【0292】

エッチング後に、不要となった金属フッ化物層のマスクを、塩酸等のエッチャントで除去する際に、金属フッ化物マスクの下に酸に弱い材料が存在する場合、例えば電極材料が酸に弱い場合には、金属フッ化物層が表面層になるようにして SiN_x 、 SiO_2 などとの積層マスクとしてもよい。この場合、 SiN_x 、 SiO_2 等は、金属フッ化物マスク層の下部の全体に存在していてもよいし、または例えば図2-21に示すように、 SiN_x 、 SiO_2 等マスク51は、金属フッ化物マスク層52の下部の全体に存在していなくても、少なくとも酸に弱い材料上に形成されていればよい。

【0293】

このような第二エッチング工程により、図2-8に示すように、発光ユニット間分離溝が形成される。

10

20

30

40

50

【0294】

次に、図2-9に示すように、装置間分離溝13を、第三エッチング工程により形成する。第三エッチング工程では、エッチングすべきGa_{0.5}N系材料の厚みは、バッファ層をすべてエッチングすることが必要なことから、第二エッチング工程と比較しても、極めて深く、5~10 μ mとなることがあり、また10 μ mを超えることもある。そのため、第二エッチング工程で説明したと同様に、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。その好ましい条件等（積層マスク等も含む）は、第二エッチング工程について説明したとおりである。

【0295】

装置間分離溝は、少なくとも第一導電型クラッド層を分断して形成されていることが必要である。タイプBの好ましい形態の1つでは、図2-9に示すように、装置間分離溝13が基板21に到達するように形成される。この場合には、装置を分離するために、スクライプ、プレーキング等の工程において、薄膜結晶層が形成されている側からダイヤモンドスクライプを実施した際にも、サファイア基板上のGa_{0.5}N系材料の剥離を抑制することが可能である。またレーザスクライプを実施した場合にも、薄膜結晶層にダメージが入らない利点がある。さらに、サファイア基板（Ga_{0.5}N等の他の基板でも同じ）の一部までエッチングして装置間分離溝を形成することも同様に好ましい。

【0296】

一方、装置間分離溝が、基板に達していない形態も好ましい形態である。例えば、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されていれば、第一導電型クラッド層の側壁に絶縁層を形成することができて、ハンダ等の回りこみに対して絶縁性を保つことができる（発光装置完成後の形態は、図2-17~図2-20を参照。）。この場合、絶縁層で被覆されずに側壁から露出する層は、高い絶縁性を有することが好ましい。装置間分離溝を、バッファ層の途中まで形成する形態では、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時実施することも可能になるので、工程を簡略化できる利点がある。

【0297】

なお、第一エッチング工程、第二エッチング工程および第三エッチング工程は、いずれの工程を先に実施しても、後に実施してもかまわない。また、プロセスを簡略にするため、第一エッチング工程を先に実施し、その際のエッチングマスクを除去しないで、第二エッチングおよび／または第三エッチング工程を実施することも好ましい。図2-21に示すように、まずSiN_x、SiO₂等の酸に強い材料（好ましくはSiN_x）により第一エッチングマスク51を形成し、第一導電型クラッド層24が現れるようにエッチングし、マスク51を除去しないで、金属フッ化物層による第二および／または第三エッチングマスク52を形成する。そして、第二および／または第三エッチング工程を実施した後、マスク52を酸により除去し、その後、マスク51を適宜除去することが好ましい。第一エッチングマスク51は、第二エッチング工程と第三エッチング工程が別々に実施される場合にも、両方のエッチングが終了するまで存在させることもできる。

【0298】

形成される装置間分離溝間の最も狭い部分の幅を2L_{WSP T 1}とすると、L_{WSP T 1}はプレーキングによって素子分離を行う際には、20 μ m以上、例えば30 μ m以上であることが望ましい。また、ダイシング等によって実施する際には、L_{WSP T 1}は300 μ m以上であることが望ましい。また、大きすぎても無駄であるので、L_{WSP T 1}は通常は2000 μ m以下である。これは、素子作製プロセスのマージンと、さらには、スクライプ領域の確保のために必要であるからである。

【0299】

第三エッチング工程の後には、図2-10に示すように、絶縁層30を形成する。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、適宜選択することができ、詳細は前述のとおりである。成膜方法は、プラズマCVD法等の公知の方法を用いればよい。

【0300】

次に、図2-11に示すように、絶縁層30の所定部分を除去し、第二導電型側電極2

10

20

30

40

50

7 上で絶縁層が除去された第二導電型側電極露出部分 3 7、第一導電型クラッド層上で絶縁層が除去された第一電流注入領域 3 6、装置間分離溝 1 3 内で絶縁層が除去されたスクライプ領域 1 4 を形成する。第二導電型側電極 2 7 上の絶縁層 3 0 の除去は、第二導電型側電極の周辺部分が絶縁層によって覆われているように実施することが望ましい。すなわち第二導電型側電極露出部分の表面積は第二電流注入領域の面積よりも小さいことが望ましい。ここで、素子作製プロセス、特にフォトリソグラフィ工程のマージン、あるいは、ハンダ材による意図しない短絡等の発生を防止するためには、第二導電型側電極の周辺から絶縁層で覆われている幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{2w} とすると、 L_{2w} は $15\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。さらに好ましくは $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上、特に好ましくは $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。絶縁層によって第二導電型側電極の面積の多くが覆われることによって、特に、金属ハンダ材によるたとえば第一導電型側電極等の他の部分との意図しない短絡を低減することができる。また、 L_{2w} は、通常 $2000\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $750\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

【0301】

絶縁層の除去は、選択された材質によってドライエッチング、ウェットエッチング等のエッチング手法が選択可能である。たとえば、絶縁層が SiN_x 単層である場合には、 SF_6 等のガスを用いたドライエッチングも、あるいはフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチングも可能である。また、絶縁層が SiO_x と TiO_x からなる誘電体多層膜である場合には、 Ar イオンミリングによって所望の部分の多層膜を除去することも可能である。

【0302】

また、第二導電型側電極露出部分 3 7、第一電流注入領域 3 6、およびスクライプ領域 1 4 の形成は、別々に行ってもよいが、通常は同時にエッチングで形成する。スクライプ領域 1 4 (図 2-2) の幅を $2L_{ws}$ とすると、 $2L_{ws}$ は $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上が好ましい。また、大きすぎても無駄であるので、 $2L_{ws}$ は、通常 $300\text{ }\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

【0303】

尚、タイプ B の異なる形態 (図 2-3、図 2-4 に対応する) では、図 2-12 に示すように、装置間分離溝内の基板近傍の側壁部分の絶縁層をも除去し、絶縁層非形成部分 1 5 を設ける。この溝側壁の絶縁層の一部の同時除去は、たとえば、以下の様なプロセスで形成が可能である。装置間分離溝 1 3 の面積とほぼ同等か少し小さめの開口を有するレジストマスクをフォトリソグラフィによって形成し、次に、絶縁層をエッチング可能なエッチャントを用いてウェットエッチングを実施すると、装置間分離溝内の基板面上の絶縁層の除去が進む。その後、さらに長時間エッチングを継続するとサイドエッチングが起こり、溝側壁の基板側を覆っていた絶縁層がウェットエッチャントで除去され、図 2-12 に示したように装置間分離溝の基板側に絶縁層が存在しない形状が得られる。このように絶縁層を除去する場合においては、絶縁層が存在しない薄膜結晶層の側壁は、アンドープ層の側壁であることが望ましい。これは、フリップチップマウントを実施する際に、万が一、サブマウントとの接合用ハンダ等が側壁に付着しても、意図しない電氣的短絡が発生しないためである。

【0304】

タイプ B の形態では、図 2-11 および図 2-12 のどちらの形態でも、マウント時の意図しない電氣的短絡等を防止できる。通常は、図 2-11 のように、基板上で絶縁層が存在しないスクライプ領域 1 4 を形成する形態で十分である。尚、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成される場合にも、上記のプロセスで絶縁膜を堆積するときに、基板面でなく溝底面に堆積される点異なるが、同一のプロセスを採用することができる。

【0305】

次に、図 2-13、図 2-14 に示すように、第一導電型側電極 2 8 を形成する。図 2-13 および図 2-14 は、それぞれ図 2-11 および図 2-12 の構造に対して、第一導電型側電極 2 8 を形成した構造を示す。電極材料としては、すでに説明したとおり、第

一導電型がn型であるとする、Ti、AlおよびMoのいずれかから選択される材料、またはすべてを構成元素として含むことが望ましい。また、n側電極の第1の光取り出し方向とあい対する向きには、Alが露出するのが普通である。

【0306】

電極材料の成膜には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、電極形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。ここで、形成プロセスにおけるマージンをある程度見込むために、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{1w} とすると、 L_{1w} は $7\mu\text{m}$ 以上が好ましく、特に $9\mu\text{m}$ 以上が好ましい。また、 L_{1w} は、通常 $500\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $100\mu\text{m}$ 以下である。通常、 $5\mu\text{m}$ 以上があれば、フォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によるプロセスマージンは確保できる。

10

【0307】

第一導電型側電極は、この例では、第一導電型クラッド層にその一部が接して形成されるが、第一導電型側コンタクト層が形成されるときはそれに接するように形成することができる。

【0308】

本形態の製造方法では、第一導電型側電極が、積層構造形成の最終段階にて製造されることにより、プロセスダメージ低減の観点でも有利である。第一導電型がn型である場合には、n側電極は、好ましい形態では、Alがその電極材の表面に形成される。この場合に、n側電極が第二導電型側電極のように絶縁層の形成よりも前になされると、n側電極表面、すなわちAl金属は、絶縁層のエッチングプロセスを履歴することになる。絶縁層のエッチングには、前述のとおりフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチング等が簡便であるが、Alはフッ酸を含めた各種エッチャントに対する耐性が低く、このようなプロセスを実効的に実施すると電極そのものにダメージが入ってしまう。また、ドライエッチングを実施してもAlは比較的反応性が高く酸化を含めたダメージが導入される可能性がある。従って、本形態においては、第一導電型側電極の形成が絶縁層の形成後かつ絶縁層の予定されている不要部分の除去後に行われることは、電極に対するダメージの低減に効果がある。

20

【0309】

このようにして、図2-13（図2-2）または図2-14（図2-4）の構造が形成された後には、各集積型化合物半導体発光装置を1つ1つ分離するために、装置間分離溝を使用して、基板対してダイヤモンドスクライブによる傷入れ、レーザスクライブによる基板材料の一部のアブレーションが実施される。

30

【0310】

装置間分離工程の際に、装置間分離溝に一切の薄膜結晶層がない場合（図2-13および図2-14の構造がこれに相当する）には、薄膜結晶層へのプロセスダメージの導入がない。また、図2-13および図2-14のように、スクライブ領域に絶縁層も存在しない場合には、スクライブ時に、絶縁層の剥離等が生じる可能性もない。

【0311】

また、装置間分離溝は、バッファ層の途中まで溝が形成されている場合（例えば、発光ユニット間分離溝と同等の深さで）もあるが、この場合にも、装置間分離溝を使用して、基板に対してのダイヤモンドスクライブによる傷入れ、レーザスクライブによる基板材料の一部のアブレーションが実施される。

40

【0312】

傷入れ（スクライブ）が終了した後は、集積型化合物半導体発光装置はブレーキング工程において、1装置ずつに分割され、好ましくはハンダ材料等によってサブマウントに搭載する。

【0313】

さらに必要により、発光装置内の各発光ユニットの接続を金属配線により適宜行う。

50

【0314】

以上のようにして、図2-1および図2-3に示した集積型化合物半導体発光装置が完成する。

【0315】

タイプBの形態の発光装置の製造方法では、面光源的な発光に有利な構造を効果的に製造できることに加えて、説明のとおり薄膜結晶層の形成、第二導電型側電極の形成、エッチング工程（第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程）、絶縁層の形成、絶縁層の除去（第二導電型側電極露出部分および第一電流注入領域の形成や装置間分離溝近傍の絶縁層の除去）、第一導電型側電極の形成は、この順に実施されることが望ましく、この工程順により、第二導電型側電極直下の薄膜結晶層のダメージがなく、また第一導電型側電極にもダメージのない発光装置を得ることができる。そして、装置形状はプロセスフローを反映したものとなっている。即ち、発光装置は、第二導電型側電極、絶縁層、第一導電型側電極がこの順番に積層された構造を内在している。つまり、第二導電型側電極は、第二導電型クラッド層（またはその他の第二導電型薄膜結晶層）に絶縁層を介在しないで接しており、第二導電型側電極の上部周辺には絶縁層で覆われた部分があり、第一導電型側電極と第一導電型クラッド層（またはその他の第一導電型薄膜結晶層）の間には、電極周囲部分に絶縁層が介在している部分が存在している。

10

【0316】

<<2-3. タイプCの形態の特徴>>

タイプCの集積型発光装置、およびその製造方法の特徴は次の事項で特定される。

20

【0317】

1. 複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

第1の光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記第1の光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

30

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0318】

2. 前記バッファ層が、薄膜結晶成長により形成された層であることを特徴とする上記1記載の発光装置。

【0319】

3. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上であることを特徴とする上記1または2記載の発光装置。

40

【0320】

4. 前記バッファ層全体の比抵抗が、0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上であることを特徴とする上記1～3のいずれかに記載の発光装置。

【0321】

5. 前記バッファ層が複数の層の積層構造であることを特徴とする上記1～4のいずれかに記載の発光装置。

【0322】

6. 前記発光ユニット間分離溝の幅が、2～300 μm の範囲である上記1～5のいずれかに記載の発光装置。

【0323】

50

7. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層の途中まで形成されたことを特徴とする上記 1～6 のいずれかに記載の発光装置。

【0324】

8. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層を除去して形成されたことを特徴とする上記 1～6 のいずれかに記載の発光装置。

【0325】

9. 前記発光ユニット間分離溝内の底面および側面の全面を被覆し、この発光装置の側面に露出した層のうち、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層の側面を被覆し、前記第一導電型側電極の第 1 の光取り出し方向側の一部に接し、前記第二導電型側電極の第 1 の光取り出し方向と反対側の一部を覆っている絶縁層を有することを特徴とする上記 1～8 のいずれかに記載の発光装置。

10

【0326】

10. この発光装置の側面に、前記第 1 の光取り出し方向から、前記絶縁層が形成されていない絶縁層非形成領域が存在し、かつ、前記絶縁層が少なくとも前記第一導電型半導体層、前記活性層構造、および前記第二導電型半導体層の側壁を覆っていることを特徴とする上記 9 記載の発光装置。

【0327】

11. 前記薄膜結晶層が、V 族として窒素原子を含む III-V 族化合物半導体からなることを特徴とする上記 1～10 のいずれかに記載の発光装置。

20

【0328】

12. 前記活性層構造が、量子井戸層とバリア層からなり、バリア層の数を B、量子井戸層の数を W で表したとき、B と W が、

$$B = W + 1$$

を満たすことを特徴とする上記 1～11 のいずれかに記載の発光装置。

【0329】

13. 前記絶縁層が、複数の層からなる誘電体多層膜であることを特徴とする上記 9 または 10 記載の発光装置。

【0330】

30

14. 前記バッファ層の第 1 の光取り出し方向側の表面が平坦でないことを特徴とする上記 1～13 のいずれかに記載の発光装置。

【0331】

15. 前記第一導電型半導体層からバッファ層側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率を R3、前記バッファ層から第 1 の光取り出し方向側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率を R4 で表したとき

$$R4 < R3$$

を満たすようにバッファ層の第 1 の光取り出し方向側に低反射光学膜を有することを特徴とする上記 1～14 のいずれかに記載の発光装置。

40

【0332】

16. 第一導電型が n 型であり、第二導電型が p 型であることを特徴とする上記 1～15 のいずれかに記載の発光装置。

【0333】

17. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、金属ハンダによって金属面を有する支持体に接合されていることを特徴とする上記 1～16 のいずれかに記載の発光装置。

【0334】

18. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極と、前記支持体の金属面との接合が、金属ハンダのみ、または金属ハンダと金属バンプによってなされていることを

50

特徴とする上記 17 記載の発光装置。

【0335】

19. 前記支持体の母材が AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BN および CuW からなる群より選ばれることを特徴とする上記 17 または 18 記載の発光装置。

【0336】

20. 前記支持体の発光装置間の分離部分に、金属層が形成されていないことを特徴とする上記 17～19 のいずれかに記載の発光装置。

【0337】

21. 複数の発光ユニットを支持体上に有する集積型化合物半導体発光装置の製造方法であって、

基板上に、バッファ層を形成する工程と、

少なくとも、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する薄膜結晶層を成膜する工程と、

前記第二導電型半導体層の表面に第二導電型側電極を形成する工程と、

前記第一導電型半導体層の一部を表面に露出させる第一エッチング工程と、

前記第一エッチング工程により、露出した第一導電型半導体層の面に第一導電型側電極を形成する工程と、

前記発光ユニットを互いに電氣的に分離するための発光ユニット間分離溝を形成するために、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部までを除去する第二エッチング工程と、

複数の発光装置に分離するための装置間分離溝を形成するために、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層を除去する第三エッチング工程と、

前記基板を除去する工程と

を有することを特徴とする集積型化合物半導体発光装置の製造方法。

【0338】

22. 前記の基板を除去する工程の前に、前記第一導電型側電極および第二導電型側電極を、支持体上の金属面に接合して前記支持体に搭載する工程を有することを特徴とする上記 21 記載の方法。

【0339】

23. 前記の基板を除去する工程の後、複数の発光装置に分離する工程を有することを特徴とする上記 22 記載の方法。

【0340】

24. 前記バッファ層の成膜工程を、前記薄膜結晶層の成膜工程の一部として、かつ前記第一導電型半導体層の形成に先立って行うことを特徴とする上記 21～23 のいずれかに記載の方法。

【0341】

25. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、0.5 (Ω・cm) 以上であることを特徴とする上記 21～24 のいずれかに記載の方法。

【0342】

26. 前記バッファ層全体の比抵抗が、0.5 (Ω・cm) 以上であることを特徴とする上記 21～25 のいずれかに記載の方法。

【0343】

27. 前記バッファ層を、複数の層の積層構造として成膜することを特徴とする上記 21～26 のいずれかに記載の方法。

【0344】

28. 前記第三エッチング工程を、前記第二エッチング工程と同時にまたは別に行い、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前

記バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行うことを特徴とする上記 21～27 のいずれかに記載の方法。

【0345】

29. 前記第三エッチング工程において、少なくとも前記基板表面に達するまでエッチングを行うことを特徴とする上記 21～27 のいずれかに記載の方法。

【0346】

30. 前記第二および第三エッチング工程が、 Cl_2 、 BCl_3 、 $SiCl_4$ 、 CCl_4 およびそれらの 2 種以上の組み合わせからなる群より選ばれるガス種を用いたドライエッチングで行われることを特徴とする上記 21～29 のいずれかに記載の方法。

【0347】

31. エッチングマスクとして、パターニングされた金属フッ化物層を用いることを特徴とする上記 30 記載の方法。

【0348】

32. 前記金属フッ化物層が、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれることを特徴とする上記 31 記載の方法。

【0349】

33. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程を有することを特徴とする上記 21～32 のいずれかに記載の方法。

【0350】

34. 前記絶縁層を形成する工程が、第一～第三エッチング工程の後に行われることを特徴とする上記 33 記載の方法。

【0351】

35. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去し、スクライプ領域を形成する工程と

を有することを特徴とする上記 21～27 のいずれかに記載の方法。

【0352】

36. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層のすべてと、前記装置間分離溝の側壁に形成された絶縁層のうち、前記溝底面側の一部を除去する工程と

を有することを特徴とする上記 21～27 のいずれかに記載の方法。

【0353】

37. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記 35 記載の方法。

【0354】

10

20

30

40

50

38. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記36記載の方法。

【0355】

39. 前記の基板を除去する工程を、前記基板に対しては透明であって、前記バッファ層に対しては吸収される波長の光を前記基板側から照射して、前記バッファ層の一部を分解して、前記基板と前記バッファ層の界面での剥離を生じさせることで行うことを特徴とする上記21～38のいずれかに記載の方法。

【0356】

40. 前記第一導電型側電極および第二導電型側電極と前記支持体上の金属面との接合を、金属ハンダで行うことを特徴とする上記22記載の方法。

10

【0357】

41. 前記支持体の母材が、金属、AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BNおよびCuWからなる群より選ばれることを特徴とする上記22または40記載の方法。

【0358】

42. 前記基板が、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃およびMgOからなる群より選ばれることを特徴とする上記21～41のいずれかに記載の方法。

【0359】

20

タイプCの形態によれば、大面積の面光源的発光に適した構造を有する集積型化合物半導体発光装置およびその製造方法を提供することができる。

【0360】

特に、発光装置の面積が数cm²を越える場合であっても、発光強度の均一性の高い面的な青色または紫外発光が可能である。また、タイプCの形態は、フリップチップ型であって、サブマウントに搭載できるために、十分な放熱性と高い光取出し効率を確保することができる。

【0361】

タイプCの形態では、発光ユニット間分離溝が、バッファ層を含めた全ての層が除去されて形成されているのではないので、隣接発光ユニット同士を、電気的には分離しながら近接させることができる。そのため、集積密度の向上および面光源的発光に非常に有利である。また、1箇所の劣化が、装置全体に影響を及ぼさないことで信頼性の観点でも優れる。さらに、発光ユニット間に共通する、電気的に十分高抵抗なバッファ層の一部まで発光ユニット間分離溝を形成するだけでよいため、エッチング深さの制約を考慮することなしに、十分に厚いバッファ層を用いることも可能であって、このために発光素子部分の結晶性をより良好にすることも可能であって、発光装置の高出力化の観点で望ましい。また、エッチング時間も短時間ですむなどの観点でも望ましい。

30

【0362】

また、タイプCの形態では第1の光取り出し方向に基板が存在しないため、以下のような利点を併せ持つことが出来る。たとえばC+サファイア基板上に一般的なMOCVD法で形成された、GaN系材料、InGaN系材料、AlGaN系材料、InAlGaN系材料、InAlGaN形材料などの材料いずれかの材料で構成された半導体発光素子であれば、これら材料のサファイア基板面側は窒素面となり、これら材料の成長方向はGa面となるのが普通である。ここで、一般的にGa面はケミカルエッチング等のしにくい面であって、光取り出し効率を向上させるための粗面化などは実施しにくい、窒素面は比較的容易にケミカルエッチングが可能であって、これによって粗面化などが可能である。これに対して、基板が存在する場合、代表的なサファイア等の基板ではケミカルエッチングがほとんど不可能である。従って、タイプCの形態では、サファイア基板等を剥離し、その後に露出した窒素面をケミカルエッチングすることで、容易に粗面化が可能になり、その結果、発光装置の発光効率等を容易に向上することができる。

40

50

【0363】

以下、タイプCの形態による発光装置およびその製造方法をさらに詳細に説明する。

【0364】

図3-1に、タイプCの形態の集積型化合物半導体発光装置（以下、単に発光装置という）の1例を示す。また、図3-1の発光装置の構造を詳細に説明するために、作製途中の形状を示す図3-2も参照しながら説明する。ここでは、図3-1、図3-2に示すように、3つの発光ユニット11によって1つの発光装置10を構成する例を示しているが、発光ユニット11の集積の個数は特に限定はなく、提供される一つの基板内で適宜個数を設定可能である。例えば発光ユニット11の数は2個でもよく、また、500個を越える個数を集積してもかまわない。発光装置10における発光ユニット11の好ましい数は25～10000個であり、また発光ユニット11が2次元的に配列されていることも好ましい。

10

【0365】

タイプCの形態において、1つの発光ユニットは、図に示すように、少なくとも、第一導電型クラッド層24を含む第一導電型半導体層、第二導電型クラッド層26を含む第二導電型半導体層、および前記第一および第二導電型半導体層の間に挟まれた活性層構造25を有する化合物半導体薄膜結晶層、第二導電型側電極27、並びに第一導電型側電極28を有する。図のように発光ユニット間分離溝12は、集積型化合物半導体発光装置10内の発光ユニット11を区画しているが、バッファ層22は、発光ユニット間に共通して設けられている。

20

【0366】

この例では、第二導電型クラッド層26の表面の一部に、第二導電型側電極27が配置され、第二導電型クラッド層26と第二導電型側電極27の接触している部分が第二電流注入領域35となっている。また、第二導電型クラッド層、活性層構造の一部、第一導電型クラッド層の一部が除去された構成となっており、除去した箇所に露出する第一導電型クラッド層24に接して、第一導電型側電極28が配置されることで、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28が、バッファ層に対して同じ側に配置されるように構成されている。

【0367】

タイプCの形態では、発光ユニット11は、互いに発光ユニット間分離溝12により電気的には分離されている。即ち、発光ユニット間分離溝12は、薄膜結晶層中の導電性の高い層を分断しており、少なくともバッファ層22まで、好ましくは図3-1に示すようにバッファ層の途中まで除去されているために、発光ユニット間で実質的な電気的結合はない。

30

そして、詳細は後述するが、バッファ層のうちで少なくとも第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）に直接接触している部分は実質的に絶縁性である。尚、タイプCの形態において、1つの発光ユニット内の発光ポイント（独立した発光部）は1つである。

【0368】

また、タイプCの形態では、発光ユニット間分離溝の幅が、好ましくは2～300 μm 、さらに好ましくは5～50 μm 、最も好ましくは8～15 μm である。タイプCの形態では、特に後述する製造方法とあいまって、発光ユニット間分離溝の幅を短くすることが可能であり、面光源に適した集積化が可能になる。

40

【0369】

図3-2には、中央の発光装置10に隣接する別の発光装置も一部図示されている。製造過程ではこのように、同一基板21上に、それぞれの発光装置10が、装置間分離溝13によって分離されて形成される。図3-1に示す完成した発光装置は、図3-2の中の1つの発光装置10を、支持体40上の金属面41に、金属ハンダ42を介して第二導電型側電極27および第一導電型側電極28をそれぞれ接続した構造に相当する。製造方法の1例は、後述する。

50

【0370】

装置間分離溝13は、図3-2の例では、基板に達するまで薄膜結晶層を除去して形成されており、好ましい形態の1つである。一方、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている形態も好ましい。これらの場合のいずれも、バッファ層よりも活性層構造側にある導電性の高い層の側壁に絶縁層を容易に形成できる。

【0371】

タイプCの形態の発光装置では、絶縁層30は、薄膜結晶層22～26の表面、側壁等を含んだ露出部分の大部分を覆っているが、図3-1の発光装置の側壁部分、即ち発光装置が分離されていない図3-2の状態における装置間分離溝13中の絶縁層形状は、いくつかの形態が可能である。いずれの形態においても、絶縁層は基板に接触せず、発光装置を分離する前に、発光装置を区画する装置間分離溝13中に、絶縁層が存在しない部分が存在することが好ましい。そして、絶縁膜が存在しない部分から、発光装置間が分離されることが好ましい。その結果、タイプCの形態の発光装置の好ましい形状では、側壁を覆う絶縁層は、バッファ層の第1の光取り出し方向側の界面まで達していない。絶縁層の好ましい形態の具体例を次に示す。

【0372】

タイプCの1形態においては、図3-2に示すように、絶縁層30が装置間分離溝13の溝内の表面の全てを覆うのではなく、絶縁層30が基板面（即ち、溝底面）と基板に近接する溝側壁部分で形成されていない絶縁層非形成部分15が存在する。この構造では、基板21に付着している絶縁層30がないので、基板21を例えば剥離により除去するときに、絶縁層の剥がれ等が生じる可能性がないので最も好ましい。得られる発光装置では、図3-1のB部分に示すように、絶縁層30が基板面まで達していない絶縁層非形成部分15が存在する。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれがないことが保証される結果、仮にハンダの回り込みがあっても、発光装置の機能が損なわれることがなく信頼性の高い装置となる。

【0373】

この図3-1では、バッファ層22の壁面の一部までが露出しているが、露出している部分は、ドーピングされていないアンドープ層であることが好ましい。露出しているのが絶縁性の高い材料であれば、信頼性の高い装置となる。

【0374】

また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合には、次のような形状の発光装置が得られる。例えば図3-13および図3-14に示すように、発光装置端までバッファ層22が存在し、バッファ層には、装置間分離溝の底面に基づく段差が存在しており、バッファ層の側壁は、絶縁層で覆われていない部分（装置端部分）と、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）とを有する。絶縁層30は、図3-13の例では、図3-13中にC部分で示すように、バッファ層22の端から離れた溝底面の位置から、分離溝底面部分と、分離溝の側壁部分とを被覆している。この形態は、図3-2において、装置間分離溝をバッファ層22の途中で止め、バッファ層の溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去してスクライプ領域を形成し、スクライプ領域から装置を分離した形状に対応する。また、図3-14の例は、図3-1および図3-2において、装置間分離溝をバッファ層22の途中で止めた形態に対応し、図3-14のD部分に示すように、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、第1の光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する。

【0375】

また、装置間分離溝の深さは、バッファ層の途中の任意の位置に設定することが可能である。図3-13および図3-14において、装置間分離溝の深さを変更した例を、それぞれ図3-15および図3-16に示す。図3-15中のE部分、図3-16中のF部分の形状は、それぞれ図3-13のC部分、図3-14のD部分と同じである。

【0376】

これらの例のように、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合にも

、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない形状ができている装置は、絶縁層の剥がれがないことが保証され、また露出している層を絶縁性の高い材料で構成することにより、図3-1の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。

【0377】

さらに、本形態の発光装置では、絶縁層30が図3-1のように、第一導電型側電極28の第1の光取り出し方向側の一部に接していること、即ち、第一導電型側電極28と第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）とのコンタクト部分の周囲に絶縁層が介在している部分があること、および第二導電型側電極27の第1の光取り出し方向と反対側の一部を覆っていること、即ち、第二導電型側電極27と第二導電型半導体層（図では第二導電型クラッド層26）の間には絶縁層が存在せずに第二導電型側電極27の周囲に被覆している部分があることが好ましい。この形態は、第二導電型側電極27が形成された後に絶縁層30が形成され、絶縁層30が形成された後に第一導電型側電極28が形成されたことを意味する。このような順序による製造方法は、後述するが、第二導電型クラッド層26等の第二導電型半導体層にダメージが少なく、また第一導電型側電極のダメージが少ないために、高効率の発光装置が得られる。即ち、このような構造を有する発光装置は、高効率を示すことを意味する。

【0378】

さらに、第二導電型側電極27の大きさは、第二電流注入領域35と同じであるが、第二導電型側電極の露出面37（第二導電型側電極露出部分）は、第二電流注入領域35の大きさよりも小さいことが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層24の表面を覆う絶縁層30の一部に、第一導電型側電極28が第一導電型クラッド層24と接触するための開口が設けられ、それが、第一電流注入領域36となる。第一導電型側電極28の面積を、第一電流注入領域よりも大きくすることが好ましい。

【0379】

また、第二導電型側電極と第一導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことも望ましい。

【0380】

以下に、装置を構成する各部材と構造についてさらに詳細に説明する。

【0381】

<基板>

タイプCの形態では、基板はその上に半導体層を成長させることが可能なものが選ばれ、また最終的に除去できるものが用いられる。基板は、透明である必要はないが、製造工程で、基板を後述するレーザディボンディングにより剥離するときには、その特定の波長のレーザ光を透過することが好ましい。また、電気的には絶縁性基板である事が好ましい。これは、製造工程で、同様にレーザディボンディング法によって基板を剥離する際に、導電性基板ではその自由電子による吸収等によって、このような基板剥離方法を採用しにくくなるからである。具体的な材料としては、例えばInAlGaN系発光材料またはInAlBGaN系材料をその上に薄膜結晶成長させるためには、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃、およびMgOから選ばれることが望ましく、特にサファイア、GaN、ZnO基板が好ましい。特にGaN基板を用いる際には、そのSiのドーピング濃度は、意図的にアンドープ基板を用いる場合には、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSi濃度以下が望ましく、さらに望ましくは $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが、電気抵抗の観点と結晶性の観点から望ましい。一方、基板を除去する際にケミカルエッチングを前提とする際には、塩酸等で容易に除去可能なZnOが望ましい。

【0382】

タイプCの形態の発光装置の製造に使用される基板は、いわゆる面指数によって完全に確定されるジャスト基板だけではなく、薄膜結晶成長の際の結晶性を制御する観点から、いわゆるオフ基板（*miss oriented substrate*）であることもできる。オフ基板は、ステップフローモードでの良好な結晶成長を促進する効果を有するた

め、素子のモフォロジ改善にも効果があり、基板として広く使用される。たとえば、サファイアのc+面基板をInAlGa_N系材料の結晶成長用基板として使用する際には、m+方向に0.2度程度傾いた面を使用することが好ましい。オフ基板としては、0.1~0.2度程度の微傾斜を持つものが広く一般的に用いられるが、サファイア上に形成されたInAlGa_N系材料においては、活性層構造内の発光ポイントである量子井戸層にかかる圧電効果による電界を打ち消すために、比較的大きなオフ角度をつけることも可能である。

【0383】

基板は、MOCVDやMBE等の結晶成長技術を利用して集積型化合物半導体発光装置を製造するために、あらかじめ化学エッチングや熱処理等を施しておいてもよい。また、後述するバッファ層との関係で、意図的に凹凸をつけた基板にしておき、これによって、薄膜結晶層と基板との界面で発生する貫通転移を発光素子あるいは、後述する発光ユニットの活性層近傍に導入しないようにすることも可能である。

【0384】

基板の厚みとしては、タイプCの1形態においては、装置作成初期においては、通常250~700μm程度のものであり、半導体発光装置の結晶成長、素子作製プロセスにおける機械的強度が確保されるようにしておくのが普通である。基板を用いて必要な半導体層を成長した後に、基板は、例えば研磨、エッチング、またはレーザディボンディング等により除去される。

【0385】

<バッファ層>

バッファ層22は、基板上に薄膜結晶成長する上で、転移の抑制、基板結晶の不完全性の緩和、基板結晶と所望の薄膜結晶層との各種の相互不整合の軽減など、主に薄膜結晶成長のための目的のために形成される。さらに、発光ユニット間分離溝をバッファ層の途中までで止められる程度の厚さと、発光ユニット間の電気的分離ができる程度の絶縁性が必要である。

【0386】

バッファ層は、薄膜結晶成長で成膜され、タイプCの形態で望ましい形態であるInAlGa_N系材料、InAlBGa_N系材料、InGa_N系材料、AlGa_N系材料、Ga_N系材料などを基板上に異種基板上に薄膜結晶成長する際には、必ずしも基板との格子定数のマッチングが確保されないので、バッファ層は特に重要である。たとえば、薄膜結晶層を有機金属気相成長法(MOVPE法)で成長する際には、600℃近傍の低温成長Al_N層をバッファ層に用いたり、あるいは500℃近傍で形成した低温成長Ga_N層を用いたりすることも出来る。また、800℃から1000℃程度の高温で成長したAl_N、Ga_N、AlGa_N、InAlGa_N、InAlBGa_Nなども使用可能である。これらの層は一般に薄く5~40nm程度である。

【0387】

バッファ層22は必ずしも単一の層である必要はなく、低温で成長したGa_Nバッファ層の上に、結晶性をより改善するために、ドーピングを施さない1000℃程度の温度で成長したGa_N層を数μm程度有するようにしてもかまわない。実際には、このような厚膜バッファ層を有することが普通であって、その厚みは0.5~7μm程度である。タイプCの形態においては、バッファ層は、化合物半導体発光装置内の発光ユニット間に共通して存在することから、ドーピングされた層を有さないことが望ましい。しかし、バッファ層内に結晶性等の観点でドーピングされた層を有するようにする際には、ドーピング層を成長した後に、さらにアンドープ層を形成し、発光ユニット間の電気的絶縁が完全に確保できるようにすることが必須である。また、バッファ層内にドーピング層とアンドープ層を積層して形成することも可能である。

【0388】

特に好ましい形態では、基板に接して350℃~650℃未満程度の低温で薄膜結晶成長させた低温バッファ層と、650℃~1050℃程度の高温で薄膜結晶成長させた高温

10

20

30

40

50

バッファ層の2層構造のものである。

【0389】

さらに、バッファ層の全厚は、好ましくは $4 \sim 20 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $4.5 \sim 10 \mu\text{m}$ 、最も好ましくは $5 \sim 8 \mu\text{m}$ であって、厚膜バッファ層は、その上に形成される発光ユニットの主要層となる薄膜結晶層の品質が向上するために好ましい。

【0390】

また、バッファ層の形成に関しては、いわゆるマイクロチャネルエピタキシーの一種である横方向成長技術（ELO）も使用可能であり、これによってサファイア等の基板とInAlGaN系材料の間で発生する貫通転移の密度を大幅に低減することも可能である。さらに基板の表面に凹凸の加工を施したような加工基板を使用する際にも、横方向成長をさせる際に転位の一部を消滅させることが可能であって、このような基板とバッファ層の組み合わせをタイプCの形態に適応する事は好ましい。さらに、この際には基板上に形成された凹凸によって光取り出し効率が向上する効果もあって、好ましい。

【0391】

タイプCの形態においては、バッファ層は、各発光ユニットに共通して存在するため、各発光ユニット間の電氣的絶縁を阻害しないように材料選択をすることが必須である。もし、例えば発光装置内のすべての発光ユニットが電氣的に結合しているとすると、発光ユニット（一对のpn接合）の1つが劣化した際に、その影響は劣化した発光ユニットの光度低下にとどまらずに、集積型化合物半導体発光装置内全体の電流注入経路の変化として現れる。そのため、1発光ユニットの劣化が発光装置の特性変動として大きく現れてしまう。タイプCの形態においては、バッファ層は、各発光ユニット間の電氣的絶縁を確保できるように材料選択をすることが極めて好ましい。電氣的に絶縁されていることで、駆動中にある発光ユニットが劣化したとしても、その劣化は、発光ユニット1つの問題で済む。

【0392】

ここで、バッファ層は、1つの発光ユニットにおける劣化等の変化が他のユニットに影響を及ぼさない程度に実質的に絶縁性を有していればよく、例えば層全体の比抵抗 ρ_c ($\Omega \cdot \text{cm}$) が 0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上であることが好ましい。さらに好ましくは、 1.0 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上であり、さらに好ましくは 1.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上、最も好ましくは 5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上である。比抵抗が高いためには、バッファ層はアンドープであることが望ましいが、バッファ層が複数の層からなる場合などにおいては、一部ドーピングされている層があっても、これがアンドープ層の間にあり、発光ユニット間が電氣的に結合していないのであれば問題はない。この場合、第一導電型半導体層（例えば第一導電型クラッド層）に隣接する層が上記の比抵抗を有していればよい。

【0393】

さらに、バッファ層は、基板を製造工程中に除去するので、タイプCの1形態においてはその表面が第1の光取り出し面になる。後述するように基板の剥離の1つ方法として、基板に対して透明で、バッファ層に対して吸収のある光を用いて、バッファ層の一部を光学的に分解して、基板を剥離する方法が挙げられる。そのような方法を採用する場合には、その方法に適合した材料が選択される。たとえば、基板がサファイアで、バッファ層がGaNである場合には、 248 nm の発振波長を有するエキシマレーザを薄膜結晶成長がされていない基板側から光を照射し、バッファ層のGaNを金属Gaと窒素に分解して、その結果、基板を剥離するレーザディボンディングを実施することも可能である。

タイプCの形態では、第1の光取り出し方向に基板が存在しないので、バッファ層の第1の光取り出し方向側の面に、いわゆる低反射コーティング層あるいは低反射光学膜が形成されることが望ましい。バッファ層—空気界面での屈折率差による反射を抑制し、高出力化、素子の高効率化を図ることができる。ここで、後述する第一導電型半導体層からバッファ層側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率を R_3 、前記バッファ層から第1の光取り出し方向側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率を R_4 で表したとき、

$$R_4 < R_3$$

を満たすようにバッファ層の第1の光取り出し方向側に低反射光学膜を有する事は望ましい。たとえばバッファ層がGa_{0.5}N_{0.5}である場合には、低反射コーティング膜としてAl₂O₃等を用いることが望ましい。これは素子の発光波長におけるバッファ層の屈折率 n_{bf} に対して、低反射コーティング膜の屈折率が、 $\sqrt{n_{bf}}$ に近いことが望ましいので、Ga_{0.5}N_{0.5}の屈折率の平方根に対して、Al₂O₃の屈折率が近いからである。

【0394】

タイプCの形態においては、バッファ層の第1の光取り出し方向側の面が、平坦でない面あるいは粗面であることも好ましい。これにより量子井戸層内で発光した光を高効率で取り出すことが可能になり、素子の高出力化、高効率化の観点で望ましい。ここで、素子の発光波長を λ (nm)とすると、バッファ層の粗面の程度は、平均粗さRa (nm)が $\lambda/5$ (nm) < Ra (nm) < $10 \times \lambda$ (nm)

を満たすことが望ましく、

$$\lambda/2$$
 (nm) < Ra (nm) < $2 \times \lambda$ (nm)

を満たすことがより望ましい。

【0395】

また、バッファ層は装置間分離溝の露出部分になってもよい。露出する部分は、特にアンドープ部分であることが好ましく、装置組み立て時のハンダ等による絶縁不良を抑制することができる。

【0396】

<第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層>

タイプCの形態における第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0397】

<活性層構造>

タイプCの形態における活性層構造は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0398】

<第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層>

タイプCの形態における第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0399】

<第二導電型側電極>

タイプCの形態における第二導電型側電極は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0400】

<第一導電型側電極>

タイプCの形態における第一導電型側電極は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0401】

<絶縁層>

タイプCの形態における絶縁層は、タイプAの形態と同様の構成を採用することができる。

【0402】

<支持体>

支持体40は、基板剥離の際の薄膜結晶層の支持体としての役割を果たせることが必須であるが、さらに、本支持体は、素子完成後の電流導入と放熱の機能をあわせ持つことも非常に望ましい。この観点で、支持体の母材は、金属、AlN、SiC、ダイヤモンド、BNおよびCuWからなる群より選ばれることが望ましい。これら材料は、放熱性に優れ、高出力の発光素子に不可避である発熱の問題を効率よく抑制できる点で好ましい

10

20

30

40

50

。また Al_2O_3 、 Si 、ガラス等も安価であって支持体として利用範囲が広く好ましい。また、後述する基板除去時にレーザ照射によって薄膜結晶層の一部を金属 Ga と窒素に分解した際には、金属 Ga を除去する際にウェットエッチングを実施する事が望ましいが、この際も、支持体はエッチングされない材質であることが望ましい。さらに、基板そのものをウェットエッチングすることも可能であって、この際にも支持体はエッチングされない材質であることが望ましい。尚、支持体の母材を金属から選択する際には、その周りを耐エッチング性のある誘電体等で覆う事が望ましい。金属の母材としては、発光素子の発光波長における反射率の高い材料が望ましく、 Al 、 Ag 等が望ましい。また、誘電体等で覆う最には、各種 CVD 法で形成した SiN_x 、 SiO_2 等が望ましい。

【0403】

支持体は、さらに素子完成後の電流導入と放熱の機能をあわせ持つとの観点では、母材の上に、電流導入用の電極配線を有することが望ましく、また、この電極配線上で装置を搭載する部分には、適宜発光装置と支持体の接合用の接着層を有することが望ましい。ここで、接着層は、 Ag を含んだペースト、金属バンプ等を使用することも可能ではあるが、金属ハンダで構成されていることが、放熱性の観点で非常に望ましい。金属ハンダは Ag を含んだペースト材、金属バンプなどと比較して圧倒的に放熱性に優れたフリップチップマウントが実現可能である。ここで、金属ハンダとしては、 In 、 $InAg$ 、 $InSn$ 、 $SnAg$ 、 $PbSn$ 、 $AuSn$ 、 $AuGe$ および $AuSi$ 等を挙げることができる。特に、 $AuSn$ 、 $AuSi$ 、 $AuGe$ 等の高融点ハンダがより望ましい。これは、発光素子を超高出力動作させるために大電流を注入すると、素子近傍の温度が $200^\circ C$ 程度に上昇するためであって、ハンダ材の融点として駆動時の素子温度よりも高い融点を有する金属ハンダがより好ましい。また、場合によっては、フリップチップマウント時の素子の段差を打ち消すために、バンプを用い、さらに、金属ハンダ材でその周りを埋めながら接合する事も望ましい。

【0404】

また、タイプ C の形態の集積型化合物半導体発光装置は、支持体上の金属配線を自在に変化させることで、1つの発光装置内の各発光ユニットを並列接続にも、直列接続にも、またはこれらを混在させることも可能である。

【0405】

〔タイプ C の形態の発光装置の製造方法〕

次に、タイプ C の形態の集積型化合物半導体発光装置の製造方法について説明する。

【0406】

タイプ C の形態の発光装置の製造方法の1例では、図3-4に示すように、まず基板21を用意し、その表面にバッファ層22、第一導電型クラッド層24、活性層構造25および第二導電型クラッド層26を薄膜結晶成長により順次成膜する。これらの薄膜結晶層の形成には、 $MOCVD$ 法が望ましく用いられる。しかし、 MBE 法、 PLD 法なども全部の薄膜結晶層、あるいは一部の薄膜結晶層を形成するために用いることが可能である。これらの層構成は、素子の目的等に合わせて適宜変更が可能である。また、薄膜結晶層の形成後には、各種の処理を実施してもかまわない。なお、本明細書では、薄膜結晶層の成長後の熱処理等も含めて、「薄膜結晶成長」と記載している。

【0407】

薄膜結晶層成長の後、図3-1、図3-2に示された形状を実現するためには、図3-4に示すように、第二導電型側電極27を形成することが好ましい。即ち、予定されている第二電流注入領域35に対する第二導電型側電極27の形成が、絶縁層30の形成よりも、また、第一電流注入領域36の形成よりも、さらには、第一導電型側電極28の形成よりも、早く実施されることが望ましい。これは、望ましい形態として第二導電型が p 型である場合において、表面に露出している p 型クラッド層の表面に対して各種プロセスを経た後に p 側電極を形成すると、 GaN 系材料では比較的活性化率の劣る $p-GaN$ クラッド層中の正孔濃度をプロセスダメージによって低下させてしまうからである。たとえば $p-CVD$ による絶縁層の形成工程を第二導電型側電極の形成より前に実施すれば、その

表面にプラズマダメージが残存してしまう。このため、本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程（たとえば後述する第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程、あるいは絶縁層形成工程、第二導電型側電極露出部分形成工程、第一電流注入領域形成工程や第一導電型側電極形成工程など）よりも先に実施されることが望ましい。

【0408】

また、本形態においては、第二導電型がp型である場合には、前述のとおり、第二導電型側電極の表面がAuである場合が代表的な例として想定されるが、露出面がAuなどの比較的安定な金属である場合には、その後のプロセスを経ても、プロセスダメージを受ける可能性が低い。この観点からも本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程よりも先に実施されることが望ましい。

10

【0409】

なお、本形態では、第二導電型側電極が形成される層が、第二導電型コンタクト層である場合にも同様に、第二導電型半導体層に対してのプロセスダメージを低減することができる。

【0410】

第二導電型側電極27の形成には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、所望の形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。

【0411】

第二導電型側電極27を形成した後、図3-5に示すように、第一導電型クラッド層24の一部を露出させる。この工程は、第二導電型クラッド層26、活性層構造25、さらには第一導電型クラッド層24の一部をエッチングにより除去することが好ましい（第一エッチング工程）。第一エッチング工程においては、後述する第一導電型側電極が第一導電型のキャリアを注入する半導体層を露出することが目的であるので、薄膜結晶層に他の層、たとえば、クラッド層が2層からなる場合や、あるいはコンタクト層がある場合には、その層を含んでエッチングしてもかまわない。

20

【0412】

第一エッチング工程では、エッチング精度があまり要求されないので、 SiN_x のような窒化物や SiO_x 等の酸化物をエッチングマスクとして Cl_2 等を用いたプラズマエッチング法による公知のドライエッチングを使用することができる。しかし、後述する第二エッチング工程、第三エッチング工程で詳細に説明するような金属フッ化物マスクを用いたドライエッチングを実施することも望ましい。特に、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれる金属フッ化物層を含むエッチングマスクを用いて、 Cl_2 、 SiCl_4 、 BCl_3 、 SiCl_4 等のガスを用いたプラズマ励起ドライエッチングによりエッチングを行うことが好ましい。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能なICP型のドライエッチングが最適である。

30

【0413】

ここで第二導電型側電極27はプラズマCVD等によって形成される SiN_x マスクの形成履歴、あるいは第一エッチング工程後に実施される該 SiN_x マスク除去工程を履歴するが、Auなどの安定な金属が表面に形成されている場合には、第二導電型側電極が受けるプロセスダメージは少なくなる。

40

【0414】

次に図3-6に示すように、発光ユニット間分離溝12を、第二エッチング工程により形成する。第二エッチング工程は、第一エッチング工程と比較して、さらに深くGaAs系材料をエッチングすることが必要となる。一般に、第一エッチング工程によってエッチングされる層の総和は、 $0.5\mu\text{m}$ 程度が普通であるが、第二エッチング工程においては、第一導電型クラッド層24のすべてと、バッファ層22の一部までをエッチングすることが必要なことから、 $1\mu\text{m}$ 以上となることが多く、例えば $1\sim 5\mu\text{m}$ の範囲、または 3μ

50

以上の範囲、例えば $3 \sim 7 \mu\text{m}$ の範囲となることがある。場合によっては、 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲、さらには $10 \mu\text{m}$ を越えることもある。しかし、基板に達するまでエッチングする場合に比べ、エッチング深さを短くできる利点がある。そのため、発光ユニット間分離溝 12 の幅を、前述のように短い幅にすることができる。

【0415】

一般に、金属マスク、 SiN_x 等の窒化物マスク、 SiO_x 等の酸化物マスク等は、 Cl_2 系プラズマに対するエッチング耐性を示す GaN 系材料に対する選択比は 5 程度であって、膜厚の厚い GaN 系材料をエッチングする必要がある第二エッチング工程を実施するには、比較的厚めの SiN_x 膜が必要となってしまう。たとえば第二ドライエッチング工程で $4 \mu\text{m}$ の GaN 系材料をエッチングする最には、 $0.8 \mu\text{m}$ を越える SiN_x マスクが必要となってしまう。しかし、この程度の厚みの SiN_x マスクになると、ドライエッチング実施中に SiN_x マスクもエッチングされてしまい、その縦方向の厚みのみではなく水平方向の形状も変ってしまい、所望の GaN 系材料部分のみを選択的にエッチングすることができなくなってしまう。

10

【0416】

そこで、第二エッチング工程において発光ユニット間分離溝を形成する際には、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。金属フッ化物層を構成する材料は、ドライエッチング耐性とウェットエッチング性のバランスを考慮すると、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrF_2 、 BaF_2 、 AlF_3 が好ましく、この中でも SrF_2 が最も好ましい。

20

【0417】

金属フッ化物膜は、第一、第二、第三エッチング工程で行うドライエッチングに対しては十分な耐性があり、一方でパターニングのためのエッチング（好ましくはウェットエッチング）に対しては、容易にエッチング可能でかつパターニング形状、特に側壁部分の直線性の良いものが求められる。金属フッ化物層の成膜温度を 150°C 以上にする事で、下地との密着性に優れ、緻密な膜が形成され、同時にエッチングによってパターニングした後に、マスク側壁の直線性にも優れている。成膜温度は、好ましくは 250°C 以上、さらに好ましくは 300°C 以上、最も好ましくは 350°C 以上である。特に 350°C 以上で成膜された金属フッ化物層は、あらゆる下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性に非常に優れ、開口部の幅の制御性も確保されるようになり、エッチングマスクとして最も好ましい。

30

【0418】

このように、下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性と開口部の幅の制御性に非常に優れたエッチングマスクとするためには、高温で成膜することが好ましいが、一方、成膜温度が高すぎると、金属フッ化物をパターニングする際に好ましく実施される塩酸等に対するウェットエッチングに対する耐性が必要以上になり、その除去が容易でなくなる。特に、後述するように SrF_2 等のマスクは半導体層のドライエッチング時に塩素等のプラズマにさらされると、その後実施するマスク層の除去時のエッチングレートが、塩素等のプラズマにさらされる前に比較して低下する傾向を有している。このため、金属フッ化物の過剰な高温での成膜はそのパターニングと最終除去の観点から好ましくない。

40

【0419】

まず半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされる前の金属フッ化物にあっては、低温成膜した層ほど塩酸等のエッチャントに対するエッチングレートが大きくエッチングが速く進行し、成膜温度を高くするほどエッチングレートが低下し、エッチングの進行が遅くなる。成膜温度が 300°C 以上になると、成膜温度が 250°C 程度の膜よりエッチングレートの低下が目立ってくるが、 350°C から 450°C 程度では、非常に都合の良いエッチング速度の範囲にある。しかし、成膜温度が 480°C を超えるとエッチング速度の絶対値が必要以上に小さくなり、当該金属フッ化物のパターニングに過剰な時間を費や

50

すこととなり、また、レジストマスク層等が剥離しない条件でのパターニングが困難になる事もある。さらに、半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされた後の金属フッ化物にあっては、除去時の塩酸等に対するウェットエッチングレートは低下する性質があり、過剰な高温成長は金属フッ化物の除去を困難にしてしまう。

【0420】

このような観点から、金属フッ化物層の成膜温度は、好ましくは480℃以下であり、さらに好ましくは470℃以下、特に好ましくは460℃以下である。

【0421】

このようなことに配慮してパターニングされたマスク（金属フッ化物層が表面層になるようにSiN_x、SiO₂などと積層されていてよい）を用いて、ドライエッチングを行う。ドライエッチングのガス種としては、Cl₂、BCl₃、SiCl₄、CCl₄およびこれらの組み合わせから選ばれるものが望ましい。ドライエッチングの際に、SrF₂マスクのGaN系材料に対する選択比は100を越えるため、厚膜GaN系材料のエッチングが容易に、かつ、高精度に行うことができる。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能なICP型のドライエッチングが最適である。

【0422】

エッチング後に、不要となった金属フッ化物層のマスクを、塩酸等のエッチャントで除去する際に、金属フッ化物マスクの下に酸に弱い材料が存在する場合、例えば電極材料が酸に弱い場合には、金属フッ化物層が表面層になるようにしてSiN_x、SiO₂などとの積層マスクとしてもよい。この場合、SiN_x、SiO₂等は、金属フッ化物マスク層の下部の全体に存在していてもよいし、または例えば図3-17に示すように、SiN_x、SiO₂等マスク51は、金属フッ化物マスク層52の下部の全体に存在していなくても、少なくとも酸に弱い材料上に形成されていればよい。

【0423】

このような第二エッチング工程により、図3-6に示すように、発光ユニット間分離溝が形成される。

【0424】

次に、図3-7に示すように、装置間分離溝13を、第三エッチング工程により形成する。第三エッチング工程では、エッチングすべきGaN系材料の厚みは、バッファ層をすべてエッチングすることが必要なことから、第二エッチング工程と比較しても、極めて深く、5~10μmとなることがあり、また10μmを超えることもある。そのため、第二エッチング工程で説明したと同様に、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。その好ましい条件等（積層マスク等も含む）は、第二エッチング工程について説明したとおりである。

【0425】

装置間分離溝は、少なくとも第一導電型クラッド層を分断して形成されていることが必要である。タイプCの好ましい形態の1つでは、図3-7に示すように、装置間分離溝13が基板21に到達するように形成される。この場合には、装置の分離が容易である。また、基板の一部までをエッチングして装置間分離溝を形成してもよい。

【0426】

一方、装置間分離溝が、基板に達していない形態も好ましい形態である。例えば、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されていれば、第一導電型クラッド層の側壁に絶縁層を形成することができて、ハンダ等の回りこみに対して絶縁性を保つことができる（発光装置完成後の形態は、図3-13~図3-16を参照。）。この場合、絶縁層で被覆されずに側壁から露出する層は、高い絶縁性を有することが好ましい。装置間分離溝を、バッファ層の途中まで形成する形態では、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時実施することも可能になるので、工程を簡略化できる利点がある。

【0427】

なお、第一エッチング工程、第二エッチング工程および第三エッチング工程は、いずれの工程を先に実施しても、後に実施してもかまわない。また、プロセスを簡略にするため

、第一エッチング工程を先に実施し、その際のエッチングマスクを除去しないで、第二エッチングおよび／または第三エッチング工程を実施することも好ましい。図3-17に示すように、まず SiN_x 、 SiO_2 等の酸に強い材料（好ましくは SiN_x ）により第一エッチングマスク51を形成し、第一導電型クラッド層24が現れるようにエッチングし、マスク51を除去しないで、金属フッ化物層による第二および／または第三エッチングマスク52を形成する。そして、第二および／または第三エッチング工程を実施した後、マスク52を酸により除去し、その後、マスク51を適宜除去することが好ましい。第一エッチングマスク51は、第二エッチング工程と第三エッチング工程が別々に実施される場合にも、両方のエッチングが終了するまで存在させることもできる。

【0428】

形成される装置分離溝間の最も狭い部分の幅を $2L_{\text{WSP}T1}$ とすると、 $L_{\text{WSP}T1}$ はブレーキングによって素子分離を行う際には、 $20\mu\text{m}$ 以上、例えば $30\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、ダイシング等によって実施する際には、 $L_{\text{WSP}T1}$ は $300\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、大きすぎても無駄であるので、 $L_{\text{WSP}T1}$ は通常は $2000\mu\text{m}$ 以下である。これは、素子作製プロセスのマージンと、さらには、スクライブ領域の確保のために必要であるからである。

【0429】

第三エッチング工程の後には、図3-8に示すように、絶縁層30を形成する。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、適宜選択することができ、詳細は前述のとおりである。成膜方法は、プラズマCVD法等の公知の方法を用いればよい。

【0430】

次に、図3-9に示すように、絶縁層30の所定部分を除去し、第二導電型側電極27上で絶縁層が除去された第二導電型側電極露出部分37、第一導電型クラッド層上で絶縁層が除去された第一電流注入領域36、装置間分離溝13内で基板面と側壁から絶縁層が除去された絶縁層非形成部分15を形成する。第二導電型側電極27上の絶縁層30の除去は、第二導電型側電極の周辺部分が絶縁層によって覆われているように実施することが望ましい。すなわち第二導電型側電極露出部分の表面積は第二電流注入領域の面積よりも小さいことが望ましい。ここで、素子作製プロセス、特にフォトリソグラフィ工程のマージン、あるいは、ハンダ材による意図しない短絡等の発生を防止するためには、第二導電型側電極の周辺から絶縁層で覆われている幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{2w} とすると、 L_{2w} は $15\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。さらに好ましくは $30\mu\text{m}$ 以上、特に好ましくは $100\mu\text{m}$ 以上である。絶縁層によって第二導電型側電極の面積の多くが覆われることによって、特に、金属ハンダ材によるたとえば第一導電型側電極等の他の部分との意図しない短絡を低減することができる。また、 L_{2w} は、通常 $2000\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $750\mu\text{m}$ 以下である。

【0431】

絶縁層の除去は、選択された材質によってドライエッチング、ウェットエッチング等のエッチング手法が選択可能である。たとえば、絶縁層が SiN_x 単層である場合には、 SF_6 等のガスを用いたドライエッチングも、あるいはフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチングも可能である。また、絶縁層が SiO_x と TiO_x からなる誘電体多層膜である場合には、Arイオンミリングによって所望の部分の多層膜を除去することも可能である。

【0432】

また、第二導電型側電極露出部分37、第一電流注入領域36、および絶縁層非形成部分15の形成は、別々に行ってもよいが、通常は同時にエッチングで形成する。

【0433】

絶縁層非形成部分15を設ける際の溝側壁の絶縁層の一部の同時除去は、たとえば、以下の様なプロセスで形成が可能である。装置間分離溝13の面積とほぼ同等か少し小さめの開口を有するレジストマスクをフォトリソグラフィによって形成し、次に、絶縁層をエッチング可能なエッチャントを用いてウェットエッチングを実施すると、装置間分離溝

内の基板面上の絶縁層の除去が進む。その後、さらに長時間エッチングを継続するとサイドエッチングが起こり、溝側壁の基板側を覆っていた絶縁層がウェットエッチャントで除去され、図3-9に示したように装置間分離溝の基板側に絶縁層が存在しない形状が得られる。このように絶縁層を除去する場合においては、絶縁層が存在しない薄膜結晶層の側壁は、アンドープ層の側壁であることが望ましい。これは、フリップチップマウントを実施する際に、万が一、支持体との接合用ハンダ等が側壁に付着しても、意図しない電氣的短絡が発生しないためである。このような絶縁層の除去形状は、特に発光装置の製造工程中に、基板を除去する際には、これに付随して絶縁層の剥離など意図しない不具合が発生しないため、望ましい形状である。尚、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成される場合にも、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、第1の光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する形態（例えば図3-14、図3-16の構造を作製する場合）では、上記のプロセスで絶縁膜を堆積するときに、基板面でなく溝底面に堆積される点異なるが、同一のプロセスを採用することができる。また、絶縁層が、分離溝底面の一部と分離溝の側壁部分とを被覆する形態（例えば図3-13、図3-15の構造を作製する場合）には、上記のプロセスで、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わずに、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去してスクライブ領域を形成すればよい。

【0434】

次に、図3-10に示すように、第一導電型側電極28を形成する。電極材料としては、すでに説明したとおり、第一導電型がn型であるとする、Ti、AlおよびMoのいずれかから選択される材料、またはすべてを構成元素として含むことが望ましい。また、n側電極の第1の光取り出し方向とあい対する向きには、Alが露出するのが普通である。

【0435】

電極材料の成膜には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、電極形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。ここで、形成プロセスにおけるマージンをある程度見込むために、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{1w} とすると、 L_{1w} は7 μm 以上が好ましく、特に9 μm 以上が好ましい。また、 L_{1w} は、通常500 μm 以下であり、好ましくは100 μm 以下である。通常、5 μm 以上があれば、フォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によるプロセスマージンは確保できる。

【0436】

第一導電型側電極は、この例では、第一導電型クラッド層にその一部が接して形成されるが、第一導電型側コンタクト層が形成されるときはそれに接するように形成することができる。

【0437】

本形態の製造方法では、第一導電型側電極が、積層構造形成の最終段階にて製造されることにより、プロセスダメージ低減の観点でも有利である。第一導電型がn型である場合には、n側電極は、好ましい形態では、Alがその電極材の表面に形成される。この場合に、n側電極が第二導電型側電極のように絶縁層の形成よりも前になされると、n側電極表面、すなわちAl金属は、絶縁層のエッチングプロセスを履歴することになる。絶縁層のエッチングには、前述のとおりフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチング等が簡便であるが、Alはフッ酸を含めた各種エッチャントに対する耐性が低く、このようなプロセスを実効的に実施すると電極そのものにダメージが入ってしまう。また、ドライエッチングを実施してもAlは比較的反応性が高く酸化を含めたダメージが導入される可能性がある。従って、本形態においては、第一導電型側電極の形成が絶縁層の形成後かつ絶縁層の予定されている不要部分の除去後に行われることは、電極に対するダメージの低減に効果がある。

10

20

30

40

50

【0438】

このようにして、図3-10（図3-2）の構造が形成された後には、基板除去するための前準備をする。通常、図3-10に示された構造を、ウェハー全体として、あるいはその一部を、先ず、支持体40に接合する。これは、薄膜結晶層全体としても高々15 μ m程度の厚みであるので、基板を剥離してしまうと、機械的強度が不十分になりそれだけで自立してその後のプロセスを受けることが困難になるからである。支持体の材料等については前述のとおりであり、支持体上の金属面41（電極配線等）に例えば金属ハンダ42で接続して搭載する。

【0439】

このとき、本形態の発光装置では、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28は、お互いが空間的に重ならない配置となっており、かつ、第一導電型側電極が第一電流注入領域よりも大きく、十分な面積も有しているため、意図しない短絡の防止と高い放熱性の確保が両立しており望ましい。また、他の薄膜結晶層の側壁もバッファ層の一部、特にアンドープ部分を除いて絶縁層で保護されるため、ハンダの染み出し等があっても薄膜結晶層内、たとえば活性層構造側壁における短絡等も発生することがない。

【0440】

次に、支持体に素子を接合した後に、基板を剥離する。基板の剥離には、研磨、エッチング、レーザディボンディング等のあらゆる方法を用いる事が可能である。サファイア基板を研磨する場合には、ダイヤモンド等の研磨材を使用して基板を除去することが可能である。また、ドライエッチングによって基板を除去することも可能である。さらには、たとえばサファイアが基板でInAlGa_N系材料によって薄膜結晶成長部分が形成されている場合には、サファイア基板側から、サファイア基板は透過し、たとえばバッファ層に使用されるGa_Nには吸収される248nmの発振波長を有するエキシマレーザを用いて、バッファ層の一部のGa_Nを金属Gaと窒素に分解し、基板を剥離するレーザディボンディングを実施する事も可能である。

【0441】

またZnOおよびScAlMgO₄等を基板として使用する場合には、HCl等のエッチャントを用いて基板をウェットエッチングで除去することも可能である。

【0442】

ここで、タイプCの好ましい形態では、基板上には絶縁層が接している部分がないため、基板剥離を実施した際に副次的に絶縁層の剥離等が発生することがない。

【0443】

その後、装置間分離溝が存在する箇所に対応する分離領域において、支持体と共に発光装置を分離して単体の発光装置を得る。ここで、支持体の分離領域には、金属配線が存在しないことが望ましい。ここに金属配線が存在すると装置間の分離が実施しにくいからである。タイプCの形態の集積型化合物半導体発光装置は、支持体上の金属配線を自在に変化させることで、1つの発光装置内の各発光ユニットを並列接続にも、直列接続にも、これらを混合した配線にする事も可能である。

【0444】

支持体の分離領域部分の切断には、母材によって、ダイシング、スクライピングとブレーキングなど適宜プロセスを選択可能である。また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合（例えば、発光ユニット間分離溝と同等の深さで、バッファ層の途中まで溝が形成されている場合）には、装置間分離溝を使用して、ダイヤモンドスクライブによる傷いれ、レーザスクライブによるバッファ層の一部のアブレーション等を実施する事で、薄膜結晶層部分における発光装置間の分離は容易に実現可能である。その後、支持体はダイシングによって、各発光装置に分離することが可能である。場合によっては、発光装置間の分離は、薄膜結晶層と支持体をダイシングによって同時に分離することも可能である。

【0445】

このようにして、図3-1に示された発光装置が完成する。

【0446】

タイプCの形態における製造方法では、面光源的発光に有利な構造を効果的に製造できることに加えて、説明のとおり薄膜結晶層の形成、第二導電型側電極の形成、エッチング工程（第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程）、絶縁層の形成、絶縁層の除去（第二導電型側電極露出部分および第一電流注入領域の形成や装置間分離溝近傍の絶縁層の除去）、第一導電型側電極の形成は、この順に実施されることが望ましく、この工程順により、第二導電型側電極直下の薄膜結晶層のダメージがなく、また第一導電型側電極にもダメージのない発光装置を得ることができる。そして、装置形状はプロセスフローを反映したものとなっている。即ち、発光装置は、第二導電型側電極、絶縁層、第一導電型側電極がこの順番に積層された構造を内在している。つまり、第二導電型側電極は、第二導電型クラッド層（またはその他の第二導電型薄膜結晶層）に絶縁層を介在しないで接しており、第二導電型側電極の上部周辺には絶縁層で覆われた部分があり、第一導電型側電極と第一導電型クラッド層（またはその他の第一導電型薄膜結晶層）の間には、電極周囲部分に絶縁層が介在している部分が存在している。

10

【0447】

<<2-4. タイプDの形態の特徴>>

タイプDの集積型発光装置、およびその製造方法の特徴は次の事項で特定される。

【0448】

1. 複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

20

第1の光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記第1の光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記第1の光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されており、

30

1つの発光ユニット内には、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む複数の発光ポイントと、少なくとも1個の前記第一導電型側電極とが設けられ、1つの発光ユニット内は前記第一導電型半導体層で電氣的に導通していること

を特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

【0449】

2. 前記バッファ層が、薄膜結晶成長により形成された層であることを特徴とする上記1記載の発光装置。

【0450】

3. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上であることを特徴とする上記1または2記載の発光装置。

40

【0451】

4. 前記バッファ層全体の比抵抗が、0.5 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以上であることを特徴とする上記1～3のいずれかに記載の発光装置。

【0452】

5. 前記バッファ層が複数の層の積層構造であることを特徴とする上記1～4のいずれかに記載の発光装置。

【0453】

6. 前記発光ユニット間分離溝の幅が、2～300 μm の範囲である上記1～5のいずれかに記載の発光装置。

50

【0454】

7. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層の途中まで形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0455】

8. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層を除去して形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0456】

9. 前記発光ユニット間分離溝内の底面および側面の全面を被覆し、この発光装置の側面に露出した層のうち、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層の側面を被覆し、前記第一導電型側電極の第1の光取り出し方向側の一部に接し、前記第二導電型側電極の第1の光取り出し方向と反対側の一部を覆っている絶縁層を有することを特徴とする上記1～8のいずれかに記載の発光装置。

10

【0457】

10. この発光装置の側面に、前記第1の光取り出し方向から、前記絶縁層が形成されていない絶縁層非形成領域が存在し、かつ、前記絶縁層が少なくとも前記第一導電型半導体層、前記活性層構造、および前記第二導電型半導体層の側壁を覆っていることを特徴とする上記9記載の発光装置。

【0458】

20

11. 前記薄膜結晶層が、V族として窒素原子を含むIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする上記1～10のいずれかに記載の発光装置。

【0459】

12. 前記活性層構造が、量子井戸層とバリア層からなり、バリア層の数をB、量子井戸層の数をWで表したとき、BとWが、

$$B = W + 1$$

を満たすことを特徴とする上記1～11のいずれかに記載の発光装置。

【0460】

13. 前記絶縁層が、複数の層からなる誘電体多層膜であることを特徴とする上記9または10記載の発光装置。

30

【0461】

14. 前記バッファ層の第1の光取り出し方向側の表面が平坦でないことを特徴とする上記1～13のいずれかに記載の発光装置。

【0462】

15. 前記第一導電型半導体層からバッファ層側に垂直入射する当該発光素子の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率をR3、前記バッファ層から第1の光取り出し方向側の空間に垂直入射する当該発光素子の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率をR4で表したとき

$$R4 < R3$$

を満たすようにバッファ層の第1の光取り出し方向側に低反射光学膜を有することを特徴とする上記1～14のいずれかに記載の発光装置。

40

【0463】

16. 第一導電型がn型であり、第二導電型がp型であることを特徴とする上記1～15のいずれかに記載の発光装置。

【0464】

17. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、金属ハンダによって金属面を有する支持体に接合されていることを特徴とする上記1～16のいずれかに記載の発光装置。

【0465】

18. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極と、前記支持体の金属面と

50

の接合が、金属ハンダのみ、または金属ハンダと金属バンプによってなされていることを特徴とする上記 17 記載の発光装置。

【0466】

19. 前記支持体の母材が AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BN および CuW からなる群より選ばれることを特徴とする上記 17 または 18 記載の発光装置。

【0467】

20. 前記支持体の発光装置間の分離部分に、金属層が形成されていないことを特徴とする上記 17～19 のいずれかに記載の発光装置。

【0468】

21. 複数の発光ユニットを支持体上に有する集積型化合物半導体発光装置の製造方法であって、

基板上に、バッファ層を形成する工程と、

少なくとも、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する薄膜結晶層を成膜する工程と、

前記第二導電型半導体層の表面に第二導電型側電極を形成する工程と、

前記第一導電型半導体層の一部を表面に露出させるとともに、前記活性層構造、前記第二導電型半導体層および前記第二導電型側電極を含む発光ポイントを複数個形成するために、前記第二導電型半導体層および前記活性層構造を複数の領域に分断する第一エッチング工程と、

前記第一エッチング工程により露出した第一導電型半導体層の面に、少なくとも 1 個の第一導電型側電極を形成する工程と、

前記発光ユニットを互いに電氣的に分離するための発光ユニット間分離溝を形成するために、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部までを除去する第二エッチング工程と、

複数の発光装置に分離するための装置間分離溝を形成するために、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層を除去する第三エッチング工程と、

前記基板を除去する工程と

を有することを特徴とする集積型化合物半導体発光装置の製造方法。

【0469】

22. 前記の基板を除去する工程の前に、前記第一導電型側電極および第二導電型側電極を、支持体上の金属面に接合して前記支持体に搭載する工程を有することを特徴とする上記 21 記載の方法。

【0470】

23. 前記の基板を除去する工程の後、複数の発光装置に分離する工程を有することを特徴とする上記 22 記載の方法。

【0471】

24. 前記バッファ層の成膜工程を、前記薄膜結晶層の成膜工程の一部として、かつ前記第一導電型半導体層の形成に先立って行うことを特徴とする上記 21～23 のいずれかに記載の方法。

【0472】

25. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、0.5 (Ω・cm) 以上であることを特徴とする上記 21～24 のいずれかに記載の方法。

【0473】

26. 前記バッファ層全体の比抵抗が、0.5 (Ω・cm) 以上であることを特徴とする上記 21～25 のいずれかに記載の方法。

【0474】

27. 前記バッファ層を、複数の層の積層構造として成膜することを特徴とする上記

10

20

30

40

50

21～26のいずれかに記載の方法。

【0475】

28. 前記第三エッチング工程を、前記第二エッチング工程と同時にまたは別に行い、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行うことを特徴とする上記21～27のいずれかに記載の方法。

【0476】

29. 前記第三エッチング工程において、少なくとも前記基板表面に達するまでエッチングを行うことを特徴とする上記21～27のいずれかに記載の方法。

【0477】

30. 前記第二および第三エッチング工程が、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およびそれらの2種以上の組み合わせからなる群より選ばれるガス種を用いたドライエッチングで行われることを特徴とする上記21～29のいずれかに記載の方法。

【0478】

31. エッチングマスクとして、パターニングされた金属フッ化物層を用いることを特徴とする上記30記載の方法。

【0479】

32. 前記金属フッ化物層が、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれることを特徴とする上記31記載の方法。

【0480】

33. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程を有することを特徴とする上記21～32のいずれかに記載の方法。

【0481】

34. 前記絶縁層を形成する工程が、第一～第三エッチング工程の後に行われることを特徴とする上記33記載の方法。

【0482】

35. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去し、スクライプ領域を形成する工程と

を有することを特徴とする上記21～27のいずれかに記載の方法。

【0483】

36. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層のすべてと、前記装置間分離溝の側壁に形成された絶縁層のうち、前記溝底面側の一部を除去する工程と

を有することを特徴とする上記21～27のいずれかに記載の方法。

【0484】

37. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記35記載の方法。

【0485】

38. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記36記載の方法。

【0486】

39. 前記の基板を除去する工程を、前記基板に対しては透明であって、前記バッファ層に対しては吸収される波長の光を前記基板側から照射して、前記バッファ層の一部を分解して、前記基板と前記バッファ層の界面での剥離を生じさせることで行うことを特徴とする上記21～38のいずれかに記載の方法。

【0487】

40. 前記第一導電型側電極および第二導電型側電極と前記支持体上の金属面との接合を、金属ハンダで行うことを特徴とする上記22記載の方法。

【0488】

41. 前記支持体の母材が、金属、AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BNおよびCuWからなる群より選ばれることを特徴とする上記22または40記載の方法。

【0489】

42. 前記基板が、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃およびMgOからなる群より選ばれることを特徴とする上記21～41のいずれかに記載の方法。

【0490】

このパートで開示される発明によれば、大面積の面光源的発光に適した構造を有する集積型化合物半導体発光装置およびその製造方法を提供することができる。

【0491】

特に、発光装置の面積が数cm²を越える場合であっても、発光強度の均一性の高い面的な青色または紫外発光が可能である。また、タイプDの形態は、フリップチップ型であって、サブマウントに搭載できるために、十分な放熱性と高い光取出し効率を確保することができる。

【0492】

タイプDの形態では、発光ユニット間分離溝が、バッファ層を含めた全ての層が除去されて形成されているのではないので、隣接発光ユニット同士を、電気的には分離しながら近接させることができる。そのため、集積密度の向上および面光源的発光に非常に有利である。また、1箇所の劣化が、装置全体に影響を及ぼさないことで信頼性の観点でも優れる。さらに、発光ユニット間に共通する、電気的に十分高抵抗なバッファ層の一部まで発光ユニット間分離溝を形成するだけでよいため、エッチング深さの制約を考慮することなしに、十分に厚いバッファ層を用いることも可能であって、このために発光素子部分の結晶性をより良好にすることも可能であって、発光装置の高出力化の観点で望ましい。また、エッチング時間も短時間ですむなどの観点でも望ましい。

【0493】

また、タイプDの形態では第1の光取り出し方向に基板が存在しないため、以下のような利点を併せ持つことが出来る。たとえばC+サファイア基板上に一般的なMOCVD法で形成された、GaN系材料、InGaN系材料、AlGaN系材料、InAlGaN系材料、InAlGaN形材料などの材料で構成された半導体発光素子であれば、これら材料のサファイア基板面側は窒素面となり、これら材料の成長方向はGa面となるのが普通である。ここで、一般的にGa面はケミカルエッチング等のしにくい面であって、光取り出し効率を向上させるための粗面化などは実施しにくい、窒素面は比較的容易にケミカルエッチングが可能であって、これによって粗面化などが可能である。これに対して、

基板が存在する場合、代表的なサファイア等の基板ではケミカルエッチングがほとんど不可能である。従って、タイプDの形態では、サファイア基板等を剥離し、その後に露出した窒素面をケミカルエッチングすることで、容易に粗面化が可能になり、その結果、発光装置の発光効率等を容易に向上することができる。

【0494】

また、タイプDの形態における発光装置は、電氣的に結合している発光ポイントのみの集積ではなく、電氣的には分離された発光ユニットの中に適切な数の発光ポイントを有する点に特徴がある。すなわち、発光装置全体が電氣的に結合している発光ポイントのみによって形成されている場合には、1つの発光ポイントの劣化は、装置全体の電流注入経路を変化させ、発光装置全体の発光強度の均一性などにその影響が出てしまう。しかし、1つの発光ユニット内に適切な数の複数の発光ポイントを有する際には、その劣化の電氣的影響は、当該発光ユニット内に限定されるため望ましい。

【0495】

以下、タイプDの形態による発光装置およびその製造方法をさらに詳細に説明する。

【0496】

図4-1に、タイプDの形態の集積型化合物半導体発光装置（以下、単に発光装置という）の1例を示す。また、図4-1の発光装置の構造を詳細に説明するために、作製途中の形状を示す図4-2も参照しながら説明する。ここでは、図4-1、図4-2に示すように、1つの発光ユニット11の中に3つの発光ポイント17が存在し、4つの発光ユニット11によって1つの発光装置10を構成する例を示している。しかし、1つの発光ユニット11の中に存在する発光ポイントの個数および発光ユニットの集積の個数は特に限定はなく、提供される一つの基板内で適宜個数を設定可能である。発光ユニット11の集積の個数は、例えば2個でもよく、また、500個を越える個数を集積してもかまわない。発光装置10における発光ユニット11の好ましい数は、トータルの発光ポイント17の数で25~10000個であり、また発光ユニット11が2次元的に配列されていることも好ましい。また、一つの発光ユニット内に存在する発光ポイントの数にも特に限定はなく、例えば2個でもよく、また、500個を越える個数を集積してもかまわない。ここで、好ましくは5~100個であり、さらに好ましくは10個~50個であり、2次元的に配列されていることも好ましい。

【0497】

タイプDの形態において、1つの発光ユニットは、図に示すように、少なくとも、第一導電型クラッド層24を含む第一導電型半導体層、第二導電型クラッド層26を含む第二導電型半導体層、および前記第一および第二導電型半導体層の間に挟まれた活性層構造25を有する化合物半導体薄膜結晶層、第二導電型側電極27、並びに第一導電型側電極28を有する。図のように発光ユニット間分離溝12は、集積型化合物半導体発光装置10内の発光ユニット11を区画しているが、バッファ層22は、発光ユニット間に共通して設けられている。

【0498】

この例では、第二導電型クラッド層26の表面の一部に、第二導電型側電極27が配置され、第二導電型クラッド層26と第二導電型側電極27の接触している部分が第二電流注入領域35となっている。また、第二導電型クラッド層、活性層構造の一部、第一導電型クラッド層の一部が除去された構成となっており、除去した箇所に露出する第一導電型クラッド層24に接して、第一導電型側電極28が配置されることで、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28が、バッファ層22に対して同じ側に配置されるように構成されている。その際、タイプDの形態では、1つの発光ユニットの中で、活性層構造25および第二導電型半導体層（第二導電型クラッド層26を含む）は分断されて、それぞれ独立して発光できる発光ポイント17を構成しており、第一導電型半導体層は発光ユニット中で共通して存在する。第二導電型側電極27は、発光ポイント17に1個ずつ設けられている。また、第一導電型側電極28は、1つの発光ユニットの中に少なくとも1つが存在すればよいが、発光ポイントの数に対応して設けてもよい。また、第一導電型側電極

28の数は、1つの発光ユニット内の発光ポイントよりも多く存在してもかまわない。しかし、タイプDの形態においては、特にこのましく実施される第二導電型側電極がp型電極である場合に、第二導電型側電極の数または面積が、第一導電型側電極の数または面積よりも、多いかまたは広いことが望ましい。これは、1つの発光ユニットの中で、実質的な発光に寄与する部分が第二導電型側電極の下（あるいは見方によっては上）に存在する活性層構造内の量子井戸層だからである。従って、1つの発光ユニット内における第二導電型側電極の数または面積が第一導電型側電極の数または面積よりも、相対的に多いかまたは広いほうが好ましい。また、後述する電流注入領域での関係では、第二電流注入領域の数または面積が、第一電流注入領域の数または面積よりも多いかまたは広いことが望ましい。また、電極の関係、電流注入領域の関係のいずれも上記を満たすことが最も望ましい。

10

【0499】

タイプDの形態では、発光ポイント17は、発光ユニット11内で第一導電型半導体層で電氣的に導通しており、発光ユニット11は、互いに発光ユニット間分離溝12により電氣的には分離されている。即ち、発光ユニット間分離溝12は、薄膜結晶層中の導電性の高い層を分断しており、少なくともバッファ層22まで、好ましくは図4-1に示すようにバッファ層の途中まで除去されているために、発光ユニット間で実質的な電氣的結合はない。

そして、詳細は後述するが、バッファ層のうちで少なくとも第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）に直接接触している部分は実質的に絶縁性である。

20

【0500】

また、タイプDの形態では、発光ユニット間分離溝の幅が、好ましくは2～300μm、さらに好ましくは5～50μm、最も好ましくは8～15μmである。タイプDの形態では、特に後述する製造方法とあいまって、発光ユニット間分離溝の幅を短くすることが可能であり、面光源に適した集積化が可能になる。

【0501】

図4-2には、中央の発光装置10に隣接する別の発光装置も一部図示されている。製造過程ではこのように、同一基板21上に、それぞれの発光装置10が、装置間分離溝13によって分離されて形成される。図4-1に示す完成した発光装置は、図4-2の中の1つの発光装置10を、支持体40上の金属面41に、金属ハンダ42を介して第二導電型側電極27および第一導電型側電極28をそれぞれ接続した構造に相当する。製造方法の1例は、後述する。

30

【0502】

装置間分離溝13は、図4-2の例では、基板に達するまで薄膜結晶層を除去して形成されており、好ましい形態の1つである。一方、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている形態も好ましい。これらの場合のいずれも、バッファ層よりも活性層構造側にある導電性の高い層の側壁に絶縁層を容易に形成できる。

【0503】

タイプDの形態の発光装置では、絶縁層30は、薄膜結晶層22～26の表面、側壁等を含んだ露出部分の大部分を覆っているが、図4-1の発光装置の側壁部分、即ち発光装置が分離されていない図4-2の状態における装置間分離溝13中の絶縁層形状は、いくつかの形態が可能である。いずれの形態においても、絶縁層は基板に接触せず、発光装置を分離する前に、発光装置を区画する装置間分離溝13中に、絶縁層が存在しない部分が存在することが好ましい。そして、絶縁膜が存在しない部分から、発光装置間が分離されることが好ましい。その結果、タイプDの形態の発光装置の好ましい形状では、側壁を覆う絶縁層は、バッファ層の第1の光取り出し方向側の界面まで達していない。絶縁層の好ましい形態の具体例を次に示す。

40

【0504】

タイプDの1形態においては、図4-2に示すように、絶縁層30が装置間分離溝13の溝内の表面の全てを覆うのではなく、絶縁層30が基板面（即ち、溝底面）と基板に近

50

接する溝側壁部分で形成されていない絶縁層非形成部分 15 が存在する。この構造では、基板 21 に付着している絶縁層 30 がないので、基板 21 を例えば剥離により除去するときに、絶縁層の剥がれ等が生じる可能性がないので最も好ましい。得られる発光装置では、図 4-1 の B 部分に示すように、絶縁層 30 が基板面まで達していない絶縁層非形成部分 15 が存在する。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれがないことが保証される結果、仮にハンダの回り込みがあっても、発光装置の機能が損なわれることがなく信頼性の高い装置となる。

【0505】

この図 4-1 では、バッファ層 22 の壁面の一部までが露出しているが、露出している部分は、ドーピングされていないアンドープ層であることが好ましい。露出しているのが絶縁性の高い材料であれば、信頼性の高い装置となる。

10

【0506】

また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合には、次のような形状の発光装置が得られる。例えば図 4-1 3 および図 4-1 4 に示すように、発光装置端までバッファ層 22 が存在し、バッファ層には、装置間分離溝の底面に基づく段差が存在しており、バッファ層の側壁は、絶縁層で覆われていない部分（装置端部分）と、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）とを有する。絶縁層 30 は、図 4-1 3 の例では、図 4-1 3 中に C 部分で示すように、バッファ層 22 の端から離れた溝底面の位置から、分離溝底面部分と、分離溝の側壁部分とを被覆している。この形態は、図 4-2 において、装置間分離溝をバッファ層 22 の途中で止め、バッファ層の溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去してスクライプ領域を形成し、スクライプ領域から装置を分離した形状に対応する。また、図 4-1 4 の例は、図 4-1 および図 4-2 において、装置間分離溝をバッファ層 22 の途中で止めた形態に対応し、図 4-1 4 の D 部分に示すように、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、第 1 の光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する。

20

【0507】

また、装置間分離溝の深さは、バッファ層の途中の任意の位置に設定することが可能である。図 4-1 3 および図 4-1 4 において、装置間分離溝の深さを変更した例を、それぞれ図 4-1 5 および図 4-1 6 に示す。図 4-1 5 中の E 部分、図 4-1 6 中の F 部分の形状は、それぞれ図 4-1 3 の C 部分、図 4-1 4 の D 部分と同じである。

30

【0508】

これらの例のように、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合にも、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない形状ができている装置は、絶縁層の剥がれがないことが保証され、また露出している層を絶縁性の高い材料で構成することにより、図 4-1 の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。

【0509】

さらに、タイプ D の形態の発光装置では、絶縁層 30 が図 4-1 のように、第一導電型側電極 28 の第 1 の光取り出し方向側の一部に接していること、即ち、第一導電型側電極 28 と第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層 24）とのコンタクト部分の周囲に絶縁層が介在している部分があること、および第二導電型側電極 27 の第 1 の光取り出し方向と反対側の一部を覆っていること、即ち、第二導電型側電極 27 と第二導電型半導体層（図では第二導電型クラッド層 26）の間には絶縁層が存在せずに第二導電型側電極 27 の周囲に被覆している部分があることが好ましい。この形態は、第二導電型側電極 27 が形成された後に絶縁層 30 が形成され、絶縁層 30 が形成された後に第一導電型側電極 28 が形成されたことを意味する。このような順序による製造方法は、後述するが、第二導電型クラッド層 26 等の第二導電型半導体層にダメージが少なく、また第一導電型側電極のダメージが少ないために、高効率の発光装置が得られる。即ち、このような構造を有する発光装置は、高効率を示すことを意味する。

40

【0510】

さらに、第二導電型側電極 27 の大きさは、第二電流注入領域 35 と同じであるが、第

50

二導電型側電極の露出面 37 (第二導電型側電極露出部分) は、第二電流注入領域 35 の大きさよりも小さいことが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層 24 の表面を覆う絶縁層 30 の一部に、第一導電型側電極 28 が第一導電型クラッド層 24 と接触するための開口が設けられ、それが、第一電流注入領域 36 となる。第一導電型側電極 28 の面積を、第一電流注入領域よりも大きくすることが好ましい。

【0511】

また、第二導電型側電極と第一導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことも望ましい。

【0512】

以下に、装置を構成する各部材と構造についてさらに詳細に説明する。

10

【0513】

<基板>

タイプ D の形態における基板は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0514】

<バッファ層>

タイプ D の形態におけるバッファ層は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0515】

<第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層>

20

タイプ D の形態における第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0516】

<活性層構造>

タイプ D の形態における活性層構造は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0517】

<第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層>

タイプ D の形態における第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

30

【0518】

<第二導電型側電極>

タイプ D の形態における第二導電型側電極は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0519】

<第一導電型側電極>

タイプ D の形態における第一導電型側電極は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0520】

<絶縁層>

40

タイプ D の形態における絶縁層は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0521】

<支持体>

タイプ D の形態における支持体は、タイプ C の形態と同様の構成を採用することができる。

【0522】

[タイプ D の形態の発光装置の製造方法]

次に、タイプ D の形態の集積型化合物半導体発光装置の製造方法について説明する。

【0523】

50

タイプDの形態の発光装置の製造方法の1例では、図4-4に示すように、まず基板21を用意し、その表面にバッファ層22、第一導電型クラッド層24、活性層構造25および第二導電型クラッド層26を薄膜結晶成長により順次成膜する。これらの薄膜結晶層の形成には、MOCVD法が望ましく用いられる。しかし、MBE法、PLD法なども全部の薄膜結晶層、あるいは一部の薄膜結晶層を形成するために用いることが可能である。これらの層構成は、素子の目的等に合わせて適宜変更が可能である。また、薄膜結晶層の形成後には、各種の処理を実施してもかまわない。なお、本明細書では、薄膜結晶層の成長後の熱処理等も含めて、「薄膜結晶成長」と記載している。

【0524】

薄膜結晶層成長の後、図4-1、図4-2に示された形状を実現するためには、図4-4に示すように、第二導電型側電極27を形成することが好ましい。即ち、予定されている第二電流注入領域35に対する第二導電型側電極27の形成が、絶縁層30の形成よりも、また、第一電流注入領域36の形成よりも、さらには、第一導電型側電極28の形成よりも、早く実施されることが望ましい。これは、望ましい形態として第二導電型がp型である場合において、表面に露出しているp型クラッド層の表面に対して各種プロセスを経た後にp側電極を形成すると、GaN系材料では比較的活性化率の劣るp-GaNクラッド層中の正孔濃度をプロセスダメージによって低下させてしまうからである。たとえばp-CVDによる絶縁層の形成工程を第二導電型側電極の形成より前に実施すれば、その表面にプラズマダメージが残存してしまう。このため、タイプDの形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程（たとえば後述する第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程、あるいは絶縁層形成工程、第二導電型側電極露出部分形成工程、第一電流注入領域形成工程や第一導電型側電極形成工程など）よりも先に実施されることが望ましい。

【0525】

また、本形態においては、第二導電型がp型である場合には、前述のとおり、第二導電型側電極の表面がAuである場合が代表的な例として想定されるが、露出面がAuなどの比較的安定な金属である場合には、その後のプロセスを経ても、プロセスダメージを受ける可能性が低い。この観点からも本形態では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程よりも先に実施されることが望ましい。

【0526】

なお、本形態では、第二導電型側電極が形成される層が、第二導電型コンタクト層である場合にも同様に、第二導電型半導体層に対してのプロセスダメージを低減することができる。

【0527】

第二導電型側電極27の形成には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、所望の形状とするためには、フォトリソグラフィー技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。

【0528】

第二導電型側電極27を形成した後、図4-5に示すように、第一導電型クラッド層24の一部を露出させる。この工程は、第二導電型クラッド層26、活性層構造25、さらには第一導電型クラッド層24の一部をエッチングにより除去することが好ましい（第一エッチング工程）。この工程で、第二導電型半導体層（第二導電型クラッド層26）および活性層構造25が分断されて、活性層構造25、第二導電型半導体層（第二導電型クラッド層26）および第二導電型側電極27を有する独立した発光ポイント17の形状が形成される。第一エッチング工程においては、後述する第一導電型側電極が第一導電型のキャリアを注入する半導体層を露出することも目的であるので、薄膜結晶層に他の層、たとえば、クラッド層が2層からなる場合や、あるいはコンタクト層がある場合には、その層を含んでエッチングしてもかまわない。

【0529】

第一エッチング工程では、エッチング精度があまり要求されないので、SiN_xのよう

な窒化物や SiO_x 等の酸化物をエッチングマスクとして Cl_2 等を用いたプラズマエッチング法による公知のドライエッチングを使用することができる。しかし、後述する第二エッチング工程、第三エッチング工程で詳細に説明するような金属フッ化物マスクを用いたドライエッチングを実施することも望ましい。特に、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれる金属フッ化物層を含むエッチングマスクを用いて、 Cl_2 、 SiCl_4 、 BCl_3 、 SiCl_4 等のガスを用いたプラズマ励起ドライエッチングによりエッチングを行うことが好ましい。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能なICP型のドライエッチングが最適である。

【0530】

ここで第二導電型側電極27はプラズマCVD等によって形成される SiN_x マスクの形成履歴、あるいは第一エッチング工程後に実施される該 SiN_x マスク除去工程を履歴するが、Auなどの安定な金属が表面に形成されている場合には、第二導電型側電極が受けるプロセスダメージは少なくなる。

【0531】

次に図4-6に示すように、発光ユニット間分離溝12を、第二エッチング工程により形成する。第二エッチング工程は、第一エッチング工程と比較して、さらに深くGaN系材料をエッチングすることが必要となる。一般に、第一エッチング工程によってエッチングされる層の総和は、 $0.5\mu\text{m}$ 程度が普通であるが、第二エッチング工程においては、第一導電型クラッド層24のすべてと、バッファ層22の一部までをエッチングすることが必要なことから、 $1\mu\text{m}$ 以上となることが多く、例えば $1\sim 5\mu\text{m}$ の範囲、または $3\mu\text{m}$ 以上の範囲、例えば $3\sim 7\mu\text{m}$ の範囲となることがある。場合によっては、 $3\sim 10\mu\text{m}$ の範囲、さらには $10\mu\text{m}$ を越えることもある。しかし、基板に達するまでエッチングする場合に比べ、エッチング深さを短くできる利点がある。そのため、発光ユニット間分離溝12の幅を、前述のように短い幅にすることができる。

【0532】

一般に、金属マスク、 SiN_x 等の窒化物マスク、 SiO_x 等の酸化物マスク等は、 Cl_2 系プラズマに対するエッチング耐性を示すGaN系材料に対する選択比は5程度であって、膜厚の厚いGaN系材料をエッチングする必要がある第二エッチング工程を実施するには、比較的厚めの SiN_x 膜が必要となってしまう。たとえば第二ドライエッチング工程で $4\mu\text{m}$ のGaN系材料をエッチングする最には、 $0.8\mu\text{m}$ を越える SiN_x マスクが必要となってしまう。しかし、この程度の厚みの SiN_x マスクになると、ドライエッチング実施中に SiN_x マスクもエッチングされてしまい、その縦方向の厚みのみではなく水平方向の形状も変ってしまい、所望のGaN系材料部分のみを選択的にエッチングすることができなくなってしまう。

【0533】

そこで、第二エッチング工程において発光ユニット間分離溝を形成する際には、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。金属フッ化物層を構成する材料は、ドライエッチング耐性とウェットエッチング性のバランスを考慮すると、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrF_2 、 BaF_2 、 AlF_3 が好ましく、この中でも SrF_2 が最も好ましい。

【0534】

金属フッ化物膜は、第一、第二、第三エッチング工程で行うドライエッチングに対しては十分な耐性があり、一方でパターニングのためのエッチング（好ましくはウェットエッチング）に対しては、容易にエッチング可能でかつパターニング形状、特に側壁部分の直線性の良いものが求められる。金属フッ化物層の成膜温度を 150°C 以上にするすることで、下地との密着性に優れ、緻密な膜が形成され、同時にエッチングによってパターニングした後に、マスク側壁の直線性にも優れている。成膜温度は、好ましくは 250°C 以上、さらに好ましくは 300°C 以上、最も好ましくは 350°C 以上である。特に 350°C 以上で成膜された金属フッ化物層は、あらゆる下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、

高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターンニング形状についても、側壁部分の直線性に非常に優れ、開口部の幅の制御性も確保されるようになり、エッチングマスクとして最も好ましい。

【0535】

このように、下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターンニング形状についても、側壁部分の直線性と開口部の幅の制御性に非常に優れたエッチングマスクとするためには、高温で成膜することが好ましいが、一方、成膜温度が高すぎると、金属フッ化物をパターンニングする際に好ましく実施される塩酸等に対するウェットエッチングに対する耐性が必要以上になり、その除去が容易でなくなる。特に、後述するように SrF_2 等のマスクは半導体層のドライエッチング時に塩素等のプラズマにさらされると、その後に実施するマスク層の除去時のエッチングレートが、塩素等のプラズマにさらされる前に比較して低下する傾向を有している。このため、金属フッ化物の過剰な高温での成膜はそのパターンニングと最終除去の観点から好ましくない。

【0536】

まず半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされる前の金属フッ化物にあっては、低温成膜した層ほど塩酸等のエッチャントに対するエッチングレートが大きくエッチングが速く進行し、成膜温度を高くするほどエッチングレートが低下し、エッチングの進行が遅くなる。成膜温度が 300°C 以上になると、成膜温度が 250°C 程度の膜よりエッチングレートの低下が目立ってくるが、 350°C から 450°C 程度では、非常に都合の良いエッチング速度の範囲にある。しかし、成膜温度が 480°C を超えるとエッチング速度の絶対値が必要以上に小さくなり、当該金属フッ化物のパターンニングに過剰な時間を費やすこととなり、また、レジストマスク層等が剥離しない条件でのパターンニングが困難になる事もある。さらに、半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされた後の金属フッ化物にあっては、除去時の塩酸等に対するウェットエッチングレートは低下する性質があり、過剰な高温成長は金属フッ化物の除去を困難にしてしまう。

【0537】

このような観点から、金属フッ化物層の成膜温度は、好ましくは 480°C 以下であり、さらに好ましくは 470°C 以下、特に好ましくは 460°C 以下である。

【0538】

このようなことに配慮してパターンニングされたマスク（金属フッ化物層が表面層になるように SiN_x 、 SiO_2 などと積層されていてよい）を用いて、ドライエッチングを行う。ドライエッチングのガス種としては、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およびこれらの組み合わせから選ばれるものが望ましい。ドライエッチングの際に、 SrF_2 マスクの GaN 系材料に対する選択比は 100 を越えるため、厚膜 GaN 系材料のエッチングが容易に、かつ、高精度に行うことができる。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能な ICP 型のドライエッチングが最適である。

【0539】

エッチング後に、不要となった金属フッ化物層のマスクを、塩酸等のエッチャントで除去する際に、金属フッ化物マスクの下に酸に弱い材料が存在する場合、例えば電極材料が酸に弱い場合には、金属フッ化物層が表面層になるようにして SiN_x 、 SiO_2 などとの積層マスクとしてもよい。この場合、 SiN_x 、 SiO_2 等は、金属フッ化物マスク層の下部の全体に存在していてもよいし、または例えば図4-17に示すように、 SiN_x 、 SiO_2 等マスク51は、金属フッ化物マスク層52の下部の全体に存在していなくても、少なくとも酸に弱い材料上に形成されていればよい。

【0540】

このような第二エッチング工程により、図4-6に示すように、発光ユニット間分離溝が形成される。

【0541】

次に、図4-7に示すように、装置間分離溝13を、第三エッチング工程により形成する。第三エッチング工程では、エッチングすべき GaN 系材料の厚みは、バッファ層をす

べてエッチングすることが必要なことから、第二エッチング工程と比較しても、極めて深く、 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ となることがあり、また $10 \mu\text{m}$ を超えることもある。そのため、第二エッチング工程で説明したと同様に、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。その好ましい条件等（積層マスク等も含む）は、第二エッチング工程について説明したとおりである。

【0542】

装置間分離溝は、少なくとも第一導電型クラッド層を分断して形成されていることが必要である。タイプDの好ましい形態の1つでは、図4-7に示すように、装置間分離溝13が基板21に到達するように形成される。この場合には、装置の分離が容易である。また、基板の一部までをエッチングして装置間分離溝を形成してもよい。

10

【0543】

一方、装置間分離溝が、基板に達していない形態も好ましい形態である。例えば、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されていれば、第一導電型クラッド層の側壁に絶縁層を形成することができて、ハンダ等の回りこみに対して絶縁性を保つことができる（発光装置完成後の形態は、図4-13～図4-16を参照。）。この場合、絶縁層で被覆されずに側壁から露出する層は、高い絶縁性を有することが好ましい。装置間分離溝を、バッファ層の途中まで形成する形態では、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時実施することも可能になるので、工程を簡略化できる利点がある。

【0544】

なお、第一エッチング工程、第二エッチング工程および第三エッチング工程は、いずれの工程を先に実施しても、後に実施してもかまわない。また、プロセスを簡略にするため、第一エッチング工程を先に実施し、その際のエッチングマスクを除去しないで、第二エッチングおよび／または第三エッチング工程を実施することも好ましい。図4-17に示すように、まず SiN_x 、 SiO_2 等の酸に強い材料（好ましくは SiN_x ）により第一エッチングマスク51を形成し、第一導電型クラッド層24が現れるようにエッチングし、マスク51を除去しないで、金属フッ化物層による第二および／または第三エッチングマスク52を形成する。そして、第二および／または第三エッチング工程を実施した後、マスク52を酸により除去し、その後、マスク51を適宜除去することが好ましい。第一エッチングマスク51は、第二エッチング工程と第三エッチング工程が別々に実施される場合にも、両方のエッチングが終了するまで存在させることもできる。

20

30

【0545】

形成される装置間分離溝間の最も狭い部分の幅を $2L_{\text{WSP}T1}$ とすると、 $L_{\text{WSP}T1}$ はプレーキングによって素子分離を行う際には、 $20 \mu\text{m}$ 以上、例えば $30 \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、ダイシング等によって実施する際には、 $L_{\text{WSP}T1}$ は $300 \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、大きすぎても無駄であるので、 $L_{\text{WSP}T1}$ は通常は $2000 \mu\text{m}$ 以下である。

【0546】

第三エッチング工程の後には、図4-8に示すように、絶縁層30を形成する。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、適宜選択することができ、詳細は前述のとおりである。成膜方法は、プラズマCVD法等の公知の方法を用いればよい。

40

【0547】

次に、図4-9に示すように、絶縁層30の所定部分を除去し、第二導電型側電極27上で絶縁層が除去された第二導電型側電極露出部分37、第一導電型クラッド層上で絶縁層が除去された第一電流注入領域36、装置間分離溝13内で基板面と側壁から絶縁層が除去された絶縁層非形成部分15を形成する。第二導電型側電極27上の絶縁層30の除去は、第二導電型側電極の周辺部分が絶縁層によって覆われているように実施することが望ましい。すなわち第二導電型側電極露出部分の表面積は第二電流注入領域の面積よりも小さいことが望ましい。ここで、素子作製プロセス、特にフォトリソグラフィ工程のマージン、あるいは、ハンダ材による意図しない短絡等の発生を防止するためには、第二導電型側電極の周辺から絶縁層で覆われている幅の中で、最も狭い部分の幅を $L_2\text{W}$ とする

50

と、 L_{2w} は $15\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。さらに好ましくは $30\mu\text{m}$ 以上、特に好ましくは $100\mu\text{m}$ 以上である。絶縁層によって第二導電型側電極の面積の多くが覆われることによって、特に、金属ハンダ材によるたとえば第一導電型側電極等の他の部分との意図しない短絡を低減することができる。また、 L_{2w} は、通常 $2000\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $750\mu\text{m}$ 以下である。

【0548】

絶縁層の除去は、選択された材質によってドライエッチング、ウェットエッチング等のエッチング手法が選択可能である。たとえば、絶縁層が SiN_x 単層である場合には、 SF_6 等のガスを用いたドライエッチングも、あるいはフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチングも可能である。また、絶縁層が SiO_x と TiO_x からなる誘電体多層膜である場合には、 Ar イオンミリングによって所望の部分の多層膜を除去することも可能である。

【0549】

また、第二導電型側電極露出部分37、第一電流注入領域36、および絶縁層非形成部分15の形成は、別々に行ってもよいが、通常は同時にエッチングで形成する。

【0550】

絶縁層非形成部分15を設ける際の溝側壁の絶縁層の一部の同時除去は、たとえば、以下の様なプロセスで形成が可能である。装置間分離溝13の面積とほぼ同等か少し小さめの開口を有するレジストマスクをフォトリソグラフィによって形成し、次に、絶縁層をエッチング可能なエッチャントを用いてウェットエッチングを実施すると、装置間分離溝内の基板面上の絶縁層の除去が進む。その後、さらに長時間エッチングを継続するとサイドエッチングが起こり、溝側壁の基板側を覆っていた絶縁層がウェットエッチャントで除去され、図4-9に示したように装置間分離溝の基板側に絶縁層が存在しない形状が得られる。このように絶縁層を除去する場合においては、絶縁層が存在しない薄膜結晶層の側壁は、アンドープ層の側壁であることが望ましい。これは、フリップチップマウントを実施する際に、万が一、支持体との接合用ハンダ等が側壁に付着しても、意図しない電氣的短絡が発生しないためである。このような絶縁層の除去形状は、特に発光装置の製造工程中に、基板を除去する際には、これに付随して絶縁層の剥離など意図しない不具合が発生しないため、望ましい形状である。尚、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成される場合にも、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、第1の光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する形態（例えば図4-14、図4-16の構造を作製する場合）では、上記のプロセスで絶縁膜を堆積するときに、基板面でなく溝底面に堆積される点異なるが、同一のプロセスを採用することができる。また、絶縁層が、分離溝底面の一部と分離溝の側壁部分とを被覆する形態（例えば図4-13、図4-15の構造を作製する場合）には、上記のプロセスで、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わずに、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去してスクライブ領域を形成すればよい。

【0551】

次に、図4-10に示すように、第一導電型側電極28を形成する。電極材料としては、すでに説明したとおり、第一導電型が n 型であるとする、 Ti 、 Al および Mo のいずれかから選択される材料、またはすべてを構成元素として含むことが望ましい。また、 n 側電極の第1の光取り出し方向とあい対する向きには、 Al が露出するのが普通である。

【0552】

電極材料の成膜には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、電極形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。ここで、形成プロセスにおけるマージンをある程度見込むために、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{1w} とすると、 L_{1w} は $7\mu\text{m}$ 以上が好ましく、特に $9\mu\text{m}$ 以上が

好ましい。また、 L_{1w} は、通常 $500\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $100\mu\text{m}$ 以下である。通常、 $5\mu\text{m}$ 以上があれば、フォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によるプロセスマージンは確保できる。

【0553】

第一導電型側電極は、この例では、第一導電型クラッド層にその一部が接して形成されるが、第一導電型側コンタクト層が形成されるときはそれに接するように形成することができる。

【0554】

本形態の製造方法では、第一導電型側電極が、積層構造形成の最終段階にて製造されることにより、プロセスダメージ低減の観点でも有利である。第一導電型がn型である場合には、n側電極は、好ましい形態では、Alがその電極材の表面に形成される。この場合に、n側電極が第二導電型側電極のように絶縁層の形成よりも前になされると、n側電極表面、すなわちAl金属は、絶縁層のエッチングプロセスを履歴することになる。絶縁層のエッチングには、前述のとおりフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチング等が簡便であるが、Alはフッ酸を含めた各種エッチャントに対する耐性が低く、このようなプロセスを実効的に実施すると電極そのものにダメージが入ってしまう。また、ドライエッチングを実施してもAlは比較的反応性が高く酸化を含めたダメージが導入される可能性がある。従って、本形態においては、第一導電型側電極の形成が絶縁層の形成後かつ絶縁層の予定されている不要部分の除去後に行われることは、電極に対するダメージの低減に効果がある。

【0555】

このようにして、図4-10（図4-2）の構造が形成された後には、基板除去するための前準備をする。通常、図4-10に示された構造を、ウエハー全体として、あるいはその一部を、先ず、支持体40に接合する。これは、薄膜結晶層全体としても高々 $15\mu\text{m}$ 程度の厚みであるので、基板を剥離してしまうと、機械的強度が不十分になりそれだけで自立してその後のプロセスを受けることが困難になるからである。支持体の材料等については前述のとおりであり、支持体上の金属面41（電極配線等）に例えば金属ハンダ42で接続して搭載する。

【0556】

このとき、本形態の発光装置では、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28は、お互いが空間的に重ならない配置となっており、かつ、第一導電型側電極が第一電流注入領域よりも大きく、十分な面積も有しているため、意図しない短絡の防止と高い放熱性の確保が両立しており望ましい。また、他の薄膜結晶層の側壁もバッファ層の一部、特にアンドープ部分を除いて絶縁層で保護されるため、ハンダの染み出し等があっても薄膜結晶層内、たとえば活性層構造側壁における短絡等も発生することがない。

【0557】

次に、支持体に素子を接合した後に、基板を剥離する。基板の剥離には、研磨、エッチング、レーザディボンディング等のあらゆる方法を用いる事が可能である。サファイア基板を研磨する場合には、ダイヤモンド等の研磨材を使用して基板を除去することが可能である。また、ドライエッチングによって基板を除去することも可能である。さらには、たとえばサファイアが基板でInAlGaN系材料によって薄膜結晶成長部分が形成されている場合には、サファイア基板側から、サファイア基板は透過し、たとえばバッファ層に使用されるGaNには吸収される 248nm の発振波長を有するエキシマレーザを用いて、バッファ層の一部のGaNを金属Gaと窒素に分解し、基板を剥離するレーザディボンディングを実施する事も可能である。

【0558】

またZnOおよびScAlMgO₄等を基板として使用する場合には、HCl等のエッチャントを用いて基板をウェットエッチングで除去することも可能である。

【0559】

ここで、タイプDの好ましい形態では、基板上には絶縁層が接している部分がないため

、基板剥離を実施した際に副次的に絶縁層の剥離等が発生することがない。

【0560】

その後、装置間分離溝が存在する箇所に対応する分離領域において、支持体と共に発光装置を分離して単体の発光装置を得る。ここで、支持体の分離領域には、金属配線が存在しないことが望ましい。ここに金属配線が存在すると装置間の分離が実施しにくいからである。タイプDの形態の集積型化合物半導体発光装置は、支持体上の金属配線を自在に変化させることで、1つの発光装置内の各発光ユニットを並列接続にも、直列接続にも、これらを混合した配線にする事も可能である。

【0561】

支持体の分離領域部分の切断には、母材によって、ダイシング、スクライビングとブレーキングなど適宜プロセスを選択可能である。また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合（例えば、発光ユニット間分離溝と同等の深さで、バッファ層の途中まで溝が形成されている場合）には、装置間分離溝を使用して、ダイヤモンドスクライブによる傷いれ、レーザスクライブによるバッファ層の一部のアブレーション等を実施する事で、薄膜結晶層部分における発光装置間の分離は容易に実現可能である。その後、支持体はダイシングによって、各発光装置に分離することが可能である。場合によっては、発光装置間の分離は、薄膜結晶層と支持体をダイシングによって同時に分離することも可能である。

【0562】

このようにして、図4-1に示された発光装置が完成する。

【0563】

タイプDの形態の製造方法では、面光源的発光に有利な構造を効果的に製造できることに加えて、説明のとおり薄膜結晶層の形成、第二導電型側電極の形成、エッチング工程（第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程）、絶縁層の形成、絶縁層の除去（第二導電型側電極露出部分および第一電流注入領域の形成や装置間分離溝近傍の絶縁層の除去）、第一導電型側電極の形成は、この順に実施されることが望ましく、この工程順により、第二導電型側電極直下の薄膜結晶層のダメージがなく、また第一導電型側電極にもダメージのない発光装置を得ることができる。そして、装置形状はプロセスフローを反映したものとなっている。即ち、発光装置は、第二導電型側電極、絶縁層、第一導電型側電極がこの順番に積層された構造を内在している。つまり、第二導電型側電極は、第二導電型クラッド層（またはその他の第二導電型薄膜結晶層）に絶縁層を介在しないで接しており、第二導電型側電極の上部周辺には絶縁層で覆われた部分があり、第一導電型側電極と第一導電型クラッド層（またはその他の第一導電型薄膜結晶層）の間には、電極周囲部分に絶縁層が介在している部分が存在している。

【0564】

<<3. 光取り出し材料>>

本発明に使用される光取り出し材料は、透明性、適切な屈折率、および密着性を有する材料であれば特に限定されない。さらに好ましくは、耐熱性およびこれらの各特性の長期安定性を有する材料である。

【0565】

<<3-1. 光取り出し材料の付着の形態>>

前述したように、本発明において集積型発光装置への光取り出し材料の付着の形態の例として、

(i) 前記集積型発光装置の第1の光取り出し方向側の面に付着している形態；

(ii) 前記集積型発光装置の第1の光取り出し方向側の面の下部に存在する空隙を充填および／または発光ユニットの側面を被覆している形態；および

(iii) 前記集積型発光装置の全体を覆っている形態；
を挙げることができる。

【0566】

以下、これら(i)～(iii)の形態について、集積型発光装置として前述したタイ

10

20

30

40

50

プAの形態の発光装置を用いた場合を例に挙げて説明する。

【0567】

図5-1および図5-2に(i)の形態の例を示す。集積型発光源200中の集積型発光装置10として、タイプAの形態の集積型発光装置がサブマウント上にフリップチップマウントされている。光取り出し材料110が、発光装置の第1の光取り出し方向側の面(タイプAの発光装置では基板面)に付着している。(i)の形態では、光取り出し材料は、図5-1に示すように、島状およびストライプ状等の不連続の形状で付着されているが、図5-2に示すように、第1の光取り出し方向側の面を連続して覆っている。例えば図5-2のように、光取り出し材料110が複数の発光ユニットに渡る場合には、光強度の均一化を図ることもできる。

10

【0568】

図6に、(ii)の形態の例を示す。フリップチップ型の集積型発光装置10では、発光ユニット11の間に空隙90が存在する場合が多い。この間を光取り出し材料110で充填することで、光の取り出し効率が向上し、またサブマウント40(または支持体40)との熱結合により放熱効果も向上する。また発光装置の側面も被覆することにより、側面から光の取り出し効率が向上する。特に、空隙90を充填することにより、空隙90部分にも光が分布すると共に、発光ユニット同士の光学的結合が強まり、発光装置の面光源としての均一性がより向上する。

【0569】

図7に(iii)の形態の例を示す。この形態は、光取り出し材料110が、集積型発光装置10の第1の光取り出し方向側の面および発光ユニットの側面に密着し、発光ユニット11の間の空隙を充填している。そのため、第1の光取り出し方向側の面からの光取り出し、発光ユニット側面からの光取り出し効率が向上する。従って、一般には、図7に示すような(iii)の形態が最も好ましい。

20

【0570】

図7Aに(iii)の他の例を示す。図7Aに示す例では、外周部を壁状に取り囲む反射板を有するマウント部品115を用い、このマウント部品115上の反射板で囲まれた部分に、サブマウント40付きの発光装置10が搭載され、さらに、反射板の内側の空間に光取り出し材料110が充填された構造を有している。この構造では、発光装置10の側方に反射板が存在し、発光装置10の側面からの光は反射板で第1の光取り出し方向に反射されるので、第1の光取り出し方向への光取り出し効率が向上する。なお、図7Aに示した例では、光取り出し材料110が発光装置10の上面をも覆っているが、発光装置10の上面が覆われないように光取り出し材料110を付着させれば、光取り出し材料110の付着の形態は上記(ii)の形態となる。

30

【0571】

また、光取り出し材料は、いずれの形態においても、光取り出し効率の向上のために外側に凸の曲面となるように形成されることが好ましい。

【0572】

以上、集積型発光装置としてタイプAの形態を用いた集積型発光源を例に挙げて説明したが、タイプB、タイプCおよびタイプDの形態の集積型発光装置にも同様に適用することができる。

40

【0573】

<<3-2. 光取り出し材料の具体的材料>>

光取り出し材料としては、発光装置には液状で付着(塗布)され、その後、何らかの硬化処理を施すことにより硬化されて固体状になる硬化性材料を用いることができる。ここで、「液状」とは、一般的な意味で用いられる液体状だけでなくゲル状も含む。本出願において、「光取り出し材料」の用語は、一般に硬化後の材料を意味し、液状の材料は、「硬化前」等の用語により区別される。尚、「硬化」の用語は、液状から固体状に変化するすべて変化を含み、重合および/または架橋による硬化に加えて、熔融状態から冷却による固体化、および溶媒蒸発による乾燥等を含む。

50

【0574】

硬化性材料は、発光装置から発せられた光の取り出し効率を高めるという光取り出し材料の役割を担保するものであれば、具体的な種類に制限は無い。また、硬化性材料は、1種のみを用いてもよく、2種以上を任意の組み合わせ及び比率で併用してもよい。したがって、硬化性材料としては、無機系材料及び有機系材料並びに両者の混合物のいずれを用いることも可能である。

【0575】

無機系材料としては、例えば、金属アルコキシド、セラミック前駆体ポリマー若しくは金属アルコキシドを含有する溶液をゾルーゲル法により加水分解重合して成る溶液、またはこれらの組み合わせを固化した無機系材料（例えばシロキサン結合を有する無機系材料）等を挙げることができる。

10

【0576】

一方、有機系材料としては、例えば、熱硬化性樹脂、光硬化性樹脂等が挙げられる。具体例を挙げると、ポリ（メタ）アクリル酸メチル等の（メタ）アクリル樹脂；ポリスチレン、スチレンーアクリロニトリル共重合体等のスチレン樹脂；ポリカーボネート樹脂；ポリエステル樹脂；フェノキシ樹脂；ブチラール樹脂；ポリビニルアルコール；エチルセルロース、セルロースアセテート、セルロースアセテートブチレート等のセルロース系樹脂；エポキシ樹脂；フェノール樹脂；シリコン樹脂等が挙げられる。

【0577】

これら硬化性材料の中では、特に、発光装置からの発光に対して劣化が少なく、耐熱性にも優れる珪素含有化合物を使用することが好ましい。珪素含有化合物とは分子中に珪素原子を有する化合物をいい、ポリオルガノシロキサン等の有機材料（シリコン系材料）、酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸窒化ケイ素等の無機材料、及びホウケイ酸塩、ホスホケイ酸塩、アルカリケイ酸塩等のガラス材料を挙げることができる。中でも、透明性、接着性、ハンドリングの容易さ、機械的、熱適応力の緩和特性に優れる等の点から、シリコン系材料が好ましい。

20

【0578】

<<3-3. シリコン系材料>>

シリコン系材料とは、通常、シロキサン結合を主鎖とする有機重合体をいい、例えば、下記的一般組成式（1）で表わされる化合物及び／又はそれらの混合物が挙げられる。

30

$(R^1R^2R^3SiO_{1/2})_M(R^4R^5SiO_{2/2})_D(R^6SiO_{3/2})_T(SiO_{4/2})_Q \cdots$
式（1）

一般組成式（1）において、 R^1 から R^6 は、有機官能基、水酸基及び水素原子よりなる群から選択されるものを表わす。なお、 R^1 から R^6 は、同じであってもよく、異なってもよい。

【0579】

また、一般組成式（1）において、M、D、T及びQは、0以上1未満の数を表わす。ただし、 $M+D+T+Q=1$ を満足する数である。

【0580】

なお、シリコン系材料を硬化性材料として用いる場合、その塗設に際しては、液状のシリコン系材料を発光装置に付着させた後、熱や光によって硬化させればよい。

40

【0581】

シリコン系材料の種類：

シリコン系材料を硬化のメカニズムにより分類すると、通常、付加重合硬化タイプ、縮重合硬化タイプ、紫外線硬化タイプ、パーオキサイド架硫タイプなどのシリコン系材料を挙げることができる。これらの中では、付加重合硬化タイプ（付加型シリコン樹脂）、縮重合硬化タイプ（縮合型シリコン樹脂）、紫外線硬化タイプが好適である。以下、付加型シリコン系材料、及び縮合型シリコン系材料について説明する。

【0582】

付加型シリコン系材料：

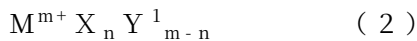
50

付加型シリコン系材料とは、ポリオルガノシロキサン鎖が、有機付加結合により架橋されたものをいう。代表的なものとしては、例えばビニルシランとヒドロシランとをPt触媒などの付加型触媒の存在下反応させて得られる、Si-C-C-Si結合を架橋点に有する化合物等を挙げることができる。これらは市販のものを使用することができ、例えば付加重合硬化タイプの具体的商品名としては信越化学工業社製「LP S-1400」「LP S-2410」「LP S-3400」等が挙げられる。

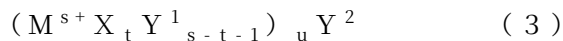
【0583】

縮合型シリコン系材料：

縮合型シリコン系材料とは、例えば、アルキルアルコキシシランの加水分解・重縮合で得られるSi-O-Si結合を架橋点に有する化合物を挙げることができる。具体的には、下記一般式(2)及び／又は(3)で表わされる化合物、及び／又はそのオリゴマーを加水分解・重縮合して得られる重縮合物が挙げられる。



(式(2)中、Mは、ケイ素、アルミニウム、ジルコニウム、及びチタンからなる群より選択される少なくとも1種の元素を表わし、Xは、加水分解性基を表わし、Y¹は、1価の有機基を表わし、mは、Mの価数を表わす1以上の整数を表わし、nは、X基の数を表わす1以上の整数を表わす。但し、m ≥ nである。)



(式(3)中、Mは、ケイ素、アルミニウム、ジルコニウム、及びチタンからなる群より選択される少なくとも1種の元素を表わし、Xは、加水分解性基を表わし、Y¹は、1価の有機基を表わし、Y²は、u価の有機基を表わし、sは、Mの価数を表わす1以上の整数を表わし、tは、1以上、s-1以下の整数を表わし、uは、2以上の整数を表わす。)

【0584】

また、縮合型シリコン系材料には、硬化触媒を含有させておいても良い。硬化触媒としては、本発明の効果を著しく損なわない限り任意のものを用いることができ、例えば、金属キレート化合物などを好適に用いることができる。金属キレート化合物は、アルミニウム、ジルコニウム、スズ、亜鉛、チタン及びタンタルからなる群より選ばれるいずれか1以上を含むものが好ましく、Zrを含むものがさらに好ましい。なお、硬化触媒は、1種のみを用いてもよく、2種以上を任意の組み合わせ及び比率で併用してもよい。

【0585】

このような縮合型シリコン系材料としては、例えば、特開2006-77234号公報、特開2006-291018号公報、特開2006-316264号公報、特開2006-336010号公報、特開2006-348284号公報、および国際公開2006/090804号パンフレットに記載の半導体発光デバイス用部材が好適である。

【0586】

縮合型シリコン系材料の中で、特に好ましい材料について、以下に説明する。

【0587】

シリコン系材料は、一般に半導体発光素子や当該素子を配置する基板、パッケージ等との接着性が弱いことが多い。そこで、本発明に用いる硬化性材料としては密着性が高いシリコン系材料を用いることが好ましく、特に、以下の特徴<1>～<3>のうち、1つ以上を有する縮合型シリコン系材料を用いることがより好ましい。

【0588】

<1> ケイ素含有率が20重量%以上である。

【0589】

<2> 後に詳述する方法によって測定した固体Si-核磁気共鳴(NMR)スペクトルにおいて、下記(a)及び／又は(b)のSiに由来するピークを少なくとも1つ有する。

(a) ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト-40ppm以上、0ppm以下の領域にあり、ピークの半値幅が0.3ppm以上、3.0ppm以下

であるピーク。

(b) ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト -80 ppm 以上、 -40 ppm 未満の領域にあり、ピークの半値幅が 0.3 ppm 以上 5.0 ppm 以下であるピーク。

【0590】

〈3〉 シラノール含有率が 0.01 重量%以上、 10 重量%以下である。

【0591】

本発明で用いる硬化性材料としては、上記の特徴〈1〉～〈3〉のうち、特徴〈1〉を有するシリコン系材料が好ましい。さらに好ましくは、上記の特徴〈1〉及び〈2〉を有するシリコン系材料が好ましい。特に好ましくは、上記の特徴〈1〉～〈3〉を全て有するシリコン系材料が好ましい。以下、上記の特徴〈1〉～〈3〉について説明する。

10

【0592】

〔特徴〈1〉（ケイ素含有率）〕

本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコン系材料のケイ素含有率は、通常 20 重量%以上であり、中でも 25 重量%以上が好ましく、 30 重量%以上がより好ましい。一方、上限としては、 SiO_2 のみからなるガラスのケイ素含有率が 47 重量%であるという理由から、通常 47 重量%以下の範囲である。

【0593】

なお、シリコン系材料のケイ素含有率は、例えば以下の方法を用いて誘導結合高周波プラズマ分光 (*inductively coupled plasma spectrometry*: 以下適宜「ICP」と略する。) 分析を行ない、その結果に基づいて算出することができる。

20

【0594】

ケイ素含有率の測定：

シリコン系材料を白金るつぼ中にて大気中、 450°C で 1 時間、次いで 750°C で 1 時間、 950°C で 1.5 時間保持して焼成し、炭素成分を除去した後、得られた残渣少量に 10 倍量以上の炭酸ナトリウムを加えてバーナー加熱し熔融させ、これを冷却して脱塩水を加え、更に塩酸にて pH を中性程度に調整しつつケイ素として数 ppm 程度になるよう定容し、ICP分析を行なう。

30

【0595】

〔特徴〈2〉（固体 Si-NMR スペクトル）〕

本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコン系材料の固体 Si-NMR スペクトルを測定すると、有機基の炭素原子が直接結合したケイ素原子に由来する前記(a)及び／又は(b)のピーク領域に少なくとも 1 本、好ましくは複数本のピークが観測される。

【0596】

ケミカルシフト毎に整理すると、本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコン系材料において、前記(a)に記載のピークの半値幅は、分子運動の拘束が小さいために全般に前記(b)に記載のピークの場合より小さく、通常 3.0 ppm 以下、好ましくは 2.0 ppm 以下、また、通常 0.3 ppm 以上の範囲である。

40

【0597】

一方、前記(b)に記載のピークの半値幅は、通常 5.0 ppm 以下、好ましくは 4.0 ppm 以下、また、通常 0.3 ppm 以上、好ましくは 0.4 ppm 以上の範囲である。

【0598】

上記のケミカルシフト領域において観測されるピークの半値幅が大きすぎると、分子運動の拘束が大きくひずみの大きな状態となり、クラックが発生し易く、耐熱・耐候耐久性に劣る部材となる場合がある。例えば、四官能シランを多用した場合や、乾燥工程において急速な乾燥を行ない大きな内部応力を蓄えた状態などにおいて、半値幅範囲が上記の範

50

囲より大きくなることがある。

【0599】

また、ピークの半値幅が小さすぎると、その環境にある Si 原子はシロキサン架橋に関わらないことになり、三官能シランが未架橋状態で残留する例など、シロキサン結合主体で形成される物質より耐熱・耐候耐久性に劣る部材となる場合がある。

【0600】

但し、大量の有機成分中に少量の Si 成分が含まれるシリコン系材料においては、 -80 ppm 以上に上述の半値幅範囲のピークが認められても、良好な耐熱・耐光性及び塗布性能は得られない場合がある。

【0601】

本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコン系材料のケミカルシフトの値は、例えば、以下の方法を用いて固体 Si-NMR 測定を行ない、その結果に基づいて算出することができる。また、測定データの解析（半値幅やシラノール量解析）は、例えばガウス関数やローレンツ関数を使用した波形分離解析等により、各ピークを分割して抽出する方法で行なう。

【0602】

〔固体 Si-NMR スペクトル測定〕

シリコン系材料について固体 Si-NMR スペクトルを行なう場合、以下の条件で固体 Si-NMR スペクトル測定及び波形分離解析を行なう。また、得られた波形データより、シリコン系材料について、各々のピークの半値幅を求める。

【0603】

〔装置条件〕

装置：Chemagnetics 社 Infinity CMX-400 核磁気共鳴分光装置

^{29}Si 共鳴周波数： 79.436 MHz

プローブ： $7.5\text{ mm } \phi$ CP/MAS 用プローブ

測定温度：室温

試料回転数： 4 kHz

測定法：シングルパルス法

^1H デカップリング周波数： 50 kHz

^{29}Si フリップ角： 90°

$^{29}\text{Si } 90^\circ$ パルス幅： $5.0\text{ }\mu\text{s}$

繰り返し時間： 600 s

積算回数： 128 回

観測幅： 30 kHz

ブロードニングファクター： 20 Hz

基準試料：シリコンゴム

【0604】

〔データ処理例〕

シリコン系材料については、 512 ポイントを測定データとして取り込み、 8192 ポイントにゼロフィリングしてフーリエ変換する。

【0605】

〔波形分離解析法〕

フーリエ変換後のスペクトルの各ピークについてローレンツ波形及びガウス波形或いは両者の混合により作成したピーク形状の中心位置、高さ、半値幅を可変パラメータとして、非線形最小二乗法により最適化計算を行なう。

【0606】

なお、ピークの同定は、AICHE Journal, 44 (5), p. 1141, 1998 年等を参考にする。

【0607】

〔特徴〈3〉（シラノール含有率）〕

本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコーン系材料は、シラノール含有率が、通常0.01重量%以上、好ましくは0.1重量%以上、より好ましくは0.3重量%以上、また、通常10重量%以下、好ましくは8重量%以下、更に好ましくは5重量%以下の範囲である。シラノール含有率を低くすることにより、シラノール系材料は経時変化が少なく、長期の性能安定性に優れ、吸湿・透湿性何れも低い優れた性能を有する。但し、シラノールが全く含まれない部材は密着性に劣るため、シラノール含有率に上記のごとく最適な範囲が存在する。

【0608】

シリコーン系材料のシラノール含有率は、例えば、前記の「固体Si-NMRスペクトル測定」の項で説明した方法を用いて固体Si-NMRスペクトル測定を行ない、全ピーク面積に対するシラノール由来のピーク面積の比率より、全ケイ素原子中のシラノールとなっているケイ素原子の比率(%)を求め、別に分析したケイ素含有率と比較することにより算出することができる。

10

【0609】

また、本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコーン系材料は、適量のシラノールを含有しているため、導光部材を構成する基板や堰等の部材の表面に存在する極性部分にシラノールが水素結合し、密着性が発現する。極性部分としては、例えば、水酸基やメタロキサン結合の酸素等が挙げられる。

【0610】

さらに、本発明で用いることのできる硬化性材料として好適なシリコーン系材料は、適切な触媒の存在下で加熱することにより、導光部材を構成する基板や堰等の部材の表面の水酸基との間に脱水縮合による共有結合を形成し、更に強固な密着性を発現することができる。

20

【0611】

一方、シラノールが多過ぎると、系内が増粘して塗布が困難になったり、活性が高くなり加熱により軽沸分が揮発する前に固化したりすることによって、発泡や内部応力の増大が生じ、クラックなどを誘起する場合がある。

【0612】

その他の成分：

硬化性材料には、本発明の効果を著しく損なわない限り、上記の無機系材料及び／又は有機系材料などに、更にその他の成分を混合して用いることも可能である。なお、その他の成分は、1種のみを用いてもよく、2種以上を任意の組み合わせ及び比率で併用してもよい。

30

【0613】

無機粒子：

硬化性材料には、光学的特性や作業性を向上させるため、また、以下の〔1〕～〔5〕の何れかの効果を得ることを目的として、更に無機粒子を含有させても良い。なお、無機粒子は、1種のみを用いてもよく、2種以上を任意の組み合わせ及び比率で併用してもよい。

【0614】

〔1〕硬化性材料に無機粒子を光散乱剤として含有させることにより、当該硬化性材料で形成された層を散乱層とする。これにより、光源から伝送された光を散乱層において散乱させることができ、導光部材から外部に放射される光の指向角を広げることが可能となる。また、蛍光体と組み合わせる無機粒子を光散乱剤として含有させれば、蛍光体に当たる光量を増加させ、波長変換効率を向上させることが可能となる。

40

【0615】

〔2〕硬化性材料に無機粒子を結合剤として含有させることにより、当該硬化性材料で形成された層においてクラックの発生を防止することができる。

【0616】

〔3〕硬化性材料に無機粒子を粘度調整剤として含有させることにより、当該硬化性材

50

料の粘度を高くすることができる。

【0617】

〔4〕硬化性材料に無機粒子を含有させることにより、当該硬化性材料で形成された層の収縮を低減することができる。

【0618】

〔5〕硬化性材料に無機粒子を含有させることにより、当該硬化性材料で形成された層の屈折率を調整して、光取り出し効率を向上させることができる。

【0619】

ただし、硬化性材料に無機粒子を含有させる場合、その無機粒子の種類及び量によって得られる効果が異なる。

10

【0620】

例えば、無機粒子が粒径約10nmの超微粒子状シリカ、ヒュームドシリカ（乾式シリカ。例えば、「日本アエロジル株式会社製、商品名：AEROSIL#200」、「トクヤマ社製、商品名：レオロシール」等）の場合、硬化性材料のチクソトロピック性が増大するため、上記〔3〕の効果が大きい。

【0621】

また、例えば、無機粒子が粒径約数 μm の破碎シリカ若しくは真球状シリカの場合、チクソトロピック性の増加はほとんど無く、当該無機粒子を含む層の骨材としての働きが中心となるので、上記〔2〕及び〔4〕の効果が大きい。

【0622】

また、例えば、硬化性材料に用いられる他の化合物（前記の無機系材料及び／又は有機系材料など）とは屈折率が異なる粒径約1 μm の無機粒子を用いると、前記化合物と無機粒子との界面における光散乱が大きくなるので、上記〔1〕の効果が大きい。

20

【0623】

また、例えば、硬化性材料に用いられる他の化合物より屈折率の大きな、中央粒径が通常1nm以上、好ましくは3nm以上、また、通常10nm以下、好ましくは5nm以下、具体的には発光波長以下の粒径をもつ無機粒子を用いると、当該無機粒子を含む層の透明性を保ったまま屈折率を向上させることができるので、上記〔5〕の効果が大きい。

【0624】

従って、混合する無機粒子の種類は目的に応じて選択すれば良い。また、その種類は単一でも良く、複数種を組み合わせてもよい。また、分散性を改善するためにシランカップリング剤などの表面処理剤で表面処理されていても良い。

30

【0625】

無機粒子の種類：

使用する無機粒子の種類としては、例えば、シリカ、チタン酸バリウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化ニオブ、酸化アルミニウム、酸化セリウム、酸化イットリウムなどの無機酸化物粒子やダイヤモンド粒子が挙げられるが、目的に応じて他の物質を選択することもでき、これらに限定されるものではない。

【0626】

無機粒子の形態は粉体状、スラリー状等、目的に応じいかなる形態でもよいが、透明性を保つ必要がある場合は、当該無機粒子を含有させる層に含有されるその他の材料と屈折率を同等としたり、水系・溶媒系の透明ゾルとして硬化性材料に加えたりすることが好ましい。

40

【0627】

無機粒子の中央粒径：

これらの無機粒子（一次粒子）の中央粒径は特に限定されないが、通常、蛍光体粒子の1/10以下程度である。具体的には、目的に応じて以下の中央粒径のものが用いられる。例えば、無機粒子を光散乱材として用いるのであれば、その中央粒径は通常0.05 μm 以上、好ましくは0.1 μm 以上、また、通常50 μm 以下、好ましくは20 μm 以下である。また、例えば、無機粒子を骨材として用いるのであれば、その中央粒径は1 μm

50

～10 μmが好適である。また、例えば、無機粒子を増粘剤（チクソ剤）として用いるのであれば、その中央粒子は10～100 nmが好適である。また、例えば、無機粒子を屈折率調整剤として用いるのであれば、その中央粒径は1～10 nmが好適である。

【0628】

無機粒子の混合方法：

無機粒子を混合する方法は特に制限されない。通常は、蛍光体と同様に遊星攪拌ミキサー等を用いて脱泡しつつ混合することが推奨される。例えばアエロジルのような凝集しやすい小粒子を混合する場合には、粒子混合後必要に応じビーズミルや三本ロールなどを用いて凝集粒子の解砕を行ってから蛍光体等の混合容易な大粒子成分を混合しても良い。

【0629】

無機粒子の含有率：

硬化性材料中における無機粒子の含有率は、本発明の効果を著しく損なわない限り任意であり、その適用形態により自由に選定できる。ただし、当該無機粒子を含有する層における無機粒子の含有率は、その適用形態により選定することが好ましい。例えば、無機粒子を光散乱剤として用いる場合は、その層内における含有率は0.01～10重量%が好適である。また、例えば、無機粒子を骨材として用いる場合は、その層内における含有率は1～50重量%が好適である。また、例えば、無機粒子を増粘剤（チクソ剤）として用いる場合は、その層内における含有率は0.1～20重量%が好適である。また、例えば、無機粒子を屈折率調整剤として用いる場合は、その層内における含有率は10～80重量%が好適である。無機粒子の量が少なすぎると所望の効果が得られなくなる可能性があり、多すぎると硬化物の密着性、透明性、硬度等の諸特性に悪影響を及ぼす可能性がある。また、流体状の硬化性材料における無機粒子の含有率は、各層における無機粒子の含有率が前記範囲に収まるように設定すればよい。したがって、流体状の硬化性材料が乾燥工程において重量変化しない場合は硬化性材料における無機粒子の含有率は形成される各層における無機粒子の含有率と同様になる。また、流体状の硬化性材料が溶媒等を含有している場合など、当該硬化性材料が乾燥工程において重量変化する場合は、その溶媒等を除いた硬化性材料における無機粒子の含有率が、形成される各層における無機粒子の含有率と同様になるようにすればよい。

【0630】

さらに、硬化性材料として前記のアルキルアルコキシシランの加水分解・重縮合物を用いる場合には、当該加水分解・重縮合物はエポキシ樹脂やシリコン樹脂などの他の硬化性材料と比較して低粘度であり、かつ蛍光体や無機粒子とのなじみが良く、高濃度の無機粒子を分散しても十分に塗布性能を維持することが出来る利点を有する。また、必要に応じて重合度の調整やアエロジル等のチクソ材を含有させることにより高粘度にすることも可能であり、目的の無機粒子含有量に応じた粘度の調整幅が大きく、塗布対象物の種類や形状さらにはポッティング、スピンコート、印刷などの各種塗布方法に柔軟に対応できる塗布液を提供することが出来る。

【0631】

<<3-4. その他>>

光取り出し材料には、必要に応じて各種の後処理を施しても良い。後処理の種類としては、表面処理、反射防止膜の作製、光取り出し効率向上のための微細凹凸面の作製等が挙げられる。

【0632】

また、光取り出し材料は、熱膨張係数が、集積型発光源に用いられる材料と同程度に小さいことが好ましいが、好ましいシリコン材料を用いた場合には、前述のようにエラストマーの性質を有することも好ましく、付着する装置部位等も考慮して適宜設定することができる。硬化物に分歧構造、架橋構造が多くなるほど、熱膨張係数が小さくなるが、一般に硬くなり、エラストマー性が低下する。従って、好ましいシリコン材料では、2官能ケイ素のみを有するモノマーおよび／またはオリゴマーに加えて、3官能以上のケイ素を有するモノマーおよび／またはオリゴマーを原料として使用することで、架橋密度を適

10

20

30

40

50

宜調節することが好ましい。

【0633】

また、光取り出し材料は、蛍光体を含有させることもできる。また複数の層とすることもできる。

【0634】

<<4. 光取り出し材料を付着した集積型発光源の製造>>

本発明では、集積型発光装置を作製した後に、光取り出し材料を集積型発光装置に付着させることが好ましい。光取り出し材料を付着させる方法としては、液状材料（硬化前の光取り出し材料）の粘度を適宜調節して、所望の形状が得られるようにすることが好ましい。例えば（i）の付着の形態の場合、比較的粘度の高い材料をディスペンサ等により順次付着していくことで形成できる。付着の形態（ii）または（iii）の形態では、粘度が低く流動性の高い材料を使用してもよい。図8に示すように、流動性が非常に大きいときは、発光装置の周囲に液止め120を設けてもよい。また、図7Aに示すようなマウント部品115を用いた場合は、マウント部品115の外周部の反射板を液止めとして利用することができる。あるいは、図9に示すように、ポッティング容器121中の液状材料113に、集積型発光源200を逆さまにして浸し、液状材料を硬化させ、その後ポッティング容器121をはずして、光取り出し材料を形成してもよい。

【0635】

以上のようにして製造された集積型発光源は、集積型発光装置に光取り出し材料が密着して付着しているため、光取り出し効率が向上し、照明用としての使用に適した発光源とすることができる。さらに、集積型発光装置への光取り出し材料の付着の形態によっては、光取り出しの均一性も向上し、面光源としての利用も可能となる。

【実施例】

【0636】

以下に実施例を挙げて本発明の特徴をさらに具体的に説明する。以下の例に示す材料、使用量、割合、処理内容、処理手順等は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更することができる。したがって、本発明の範囲は以下に示す具体例により限定的に解釈されるべきものではない。また、以下の実施例において参照している図面は、構造を把握しやすくするために敢えて寸法を変えている部分があるが、実際の寸法は以下の文中に記載されたとおりである。

【0637】

<<集積型発光装置タイプAの製造例>>

（製造例A-1）

図1-15に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。関連する工程図として、図1-6～10、12および14を参照する。

【0638】

厚みが430 μm のc+面サファイア基板21を用意し、この上に、まずMOVPE法を用いて、第1のバッファ層22aとして厚み10nmの低温成長したアンドープのGaN層を形成し、この後に第2のバッファ層22bとして厚み4 μm のアンドープGaN層を1040 $^{\circ}\text{C}$ で形成した。

【0639】

さらに、第一導電型（n型）第二クラッド層24bとしてSiドープ（Si濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）のGaN層を2 μm 厚に形成し、第一導電型（n型）コンタクト層24cとしてSiドープ（Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）のGaN層を0.5 μm 厚に形成し、さらに第一導電型（n型）第一クラッド層24aとしてSiドープ（Si濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）のAl_{0.15}Ga_{0.85}N層を0.1 μm の厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850 $^{\circ}\text{C}$ で13nmの厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として720 $^{\circ}\text{C}$ で2nmの厚さに成膜したアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N層とを、量子井戸層が全部で5層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025 $^{\circ}\text{C}$ にして、第二導電型（p型）第一クラッド層2

6 aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26 bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Ga N 層を $0.07 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26 cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)Ga N 層を $0.03 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。

【0640】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0641】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対してp側電極を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてp側電極27をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでp側電極としてNi(20nm厚)/Au(500nm厚)を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極を完成させた。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図1-6に対応する。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0642】

次いで、第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて $0.4 \mu\text{m}$ 厚みの SiN_x を基板温度 400°C で、ウェハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグラフィ工程を実施して SiN_x マスクをパターニングし、 SiN_x エッチングマスクを作製した。この際には、 SiN_x 膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いて SF_6 プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分はマスクを残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分の SiN_x 膜を除去した。

【0643】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26 c、p-GaN第二クラッド層26 b、p-AlGa N 第一クラッド層26 a、InGa N 量子井戸層とGa N バリア層からなる活性層構造25、n-AlGa N 第一クラッド層24 aを経てn-GaNコンタクト層24 cの途中まで、 Cl_2 ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層24 cを露出させた。

【0644】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SiN_x マスクをバッファフッ酸を用いてすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによっても、p側電極はまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図1-7に対応する。

【0645】

次いで、各発光装置内にある発光ユニット間分離溝12を形成する第二エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝を形成する領域の SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の発光ユニット間分離溝形成用マスク、すなわち、第二エッチング工程用 SrF_2 マスクを形成した。

【0646】

次いで第二エッチング工程として、発光ユニット間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26 c、p-GaN第二クラッド層26 b、p-AlGa N 第一クラッド層26 a、InGa N 量子井戸層とGa N バリア層からなる活性層構造25、n-AlGa N 第一クラッド層24 a、n-GaNコンタクト層24 c、n-GaN第二クラッド層24 b、アンドープGa N バッファ層22の一部までの薄膜結晶層を、 Cl_2 ガスを用いたICPエッチングした。この第二エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエ

10

20

30

40

50

ッチングされなかった。発光ユニット間分離溝 12 の幅は、マスクの幅どおり、 $10\text{ }\mu\text{m}$ で形成できた。

【0647】

第二エッチング工程によって発光ユニット間分離溝 12 を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいても p 側電極表面には Au が露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 1-8 に対応する。

【0648】

次いで、各々の化合物半導体発光装置間の装置間分離溝 13 を形成する第三エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウエハー全面に形成した。次いで、装置間分離溝を形成する領域部分の SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の装置間分離溝形成用マスク、すなわち、第三エッチング工程用 SrF_2 マスクを形成した。

10

【0649】

次いで、第三エッチング工程として、装置間分離溝に相当する部分の、p-GaN コンタクト層 26c、p-GaN 第二クラッド層 26b、p-AlGaN 第一クラッド層 26a、InGaN 量子井戸層と GaN バリア層からなる活性層構造 25、n-AlGaN 第一クラッド層 24a、n-GaN コンタクト層 24c、n-GaN 第二クラッド層 24b、アンドープ GaN バッファ層 22 (22a、22b) と薄膜結晶層のすべてを、 Cl_2 ガスを用いた ICP エッチングした。当該第三エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。この工程により、幅 $50\text{ }\mu\text{m}$ の装置間分離溝を形成した。

20

【0650】

第三エッチング工程によって装置間分離溝 13 を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいても p 側電極 27 表面には Au が露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 1-9 に対応する。

【0651】

次いで、ウエハー全面に p-CVD 法によって SiO_x と SiN_x をこの順に形成し、誘電体多層膜とした。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 1-10 に対応する。

【0652】

次いで、Ni-Au からなる p 側電極 27 上への p 側電極露出部分の形成、n 側コンタクト層 24c 上への n 側電流注入領域 (36) の形成、装置間分離溝内のアンドープバッファ層の側壁の一部に残存する絶縁層の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成した。次いでフッ酸系のエッチャントでレジストマスクを形成しなかった誘電体多層膜 (絶縁層) を除去した。さらに、フッ酸によるサイドエッチングの効果によって、アンドープバッファ層の側壁の一部の誘電体多層膜 (絶縁層) も除去した。ここでは、p 側電極 27 の周辺は SiO_x と SiN_x からなる絶縁層に $150\text{ }\mu\text{m}$ 覆われているようにした。

30

【0653】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE 法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p 側電極表面には Au が露出していたため、p-CVD による SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 1-12 に対応する。

40

【0654】

次いで、n 側電極 28 を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いて n 側電極をリフトオフ法でパターンニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここで n 側電極として Ti (20 nm 厚) / Al (300 nm 厚) を真空蒸着法でウエハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施して n 側電極を完成させた。n 側電極は、その面積が n 側電流注入領域よりも大きくなるように、絶縁層にその周辺が $30\text{ }\mu\text{m}$ ほど接するようにし、かつ、p 側電極 27 との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。尚、別の製造例では、 $10\text{ }\mu\text{m}$ ほど接するようにして製造し

50

、この製造例と同等の性能の発光素子が得られた。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図1-14に対応する。

【0655】

次いで、サファイア基板の裏面側に、 MgF_2 からなる低反射光学膜45を真空蒸着法によって形成した。この際には、 MgF_2 は素子の発光波長に対して低反射コーティングとなるように、光学膜厚の $1/4$ を成膜した。

【0656】

次いで、ウェハー上に形成された1つ1つの発光装置を分割するために、レーザスクライバーを用いて薄膜結晶成長側から装置間分離溝13内にスクライブラインを形成した。さらにこのスクライブラインにそってサファイア基板と MgF_2 低反射光学膜のみをブレーキングし、1つ1つの集積型化合物半導体発光装置を完成させた。この際に、薄膜結晶層へのダメージ導入はなく、また、誘電体膜の剥離等も発生しなかった。

【0657】

次いで、この素子を金属ハンダ42を用いてサブマウント40の金属面41と接合し、図1-15に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0658】

(製造例A-2)

製造例A-1において、バッファ層22を成膜した後の薄膜結晶層の成膜を次のように行った以外は製造例A-1を繰り返した。即ち、製造例A-1で、第2のバッファ層22bとして厚み $4\mu m$ のアンドープGaNを $1040^\circ C$ で形成した後、さらに、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドープ(Si濃度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$)のGaN層を $4\mu m$ 厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドープ(Si濃度 $8 \times 10^{18} cm^{-3}$)のGaN層を $0.5\mu m$ 厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドープ(Si濃度 $5.0 \times 10^{18} cm^{-3}$)の $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層を $0.1\mu m$ の厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として $850^\circ C$ で $13nm$ の厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として $720^\circ C$ で $2nm$ の厚さに成膜したアンドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層とを、量子井戸層が全部で8層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を $1025^\circ C$ にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} cm^{-3}$) $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ を $0.1\mu m$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} cm^{-3}$)GaNを $0.07\mu m$ の厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} cm^{-3}$)GaNを $0.03\mu m$ の厚さに形成した。その後は、製造例A-1と同様にして、図1-15に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0659】

尚、製造例A-1、2のプロセスでは、第一エッチング工程後に SiN_x マスクを除去したが、 SiN_x マスクを除去せずに、第二エッチング工程後に除去してもよいし、さらには第三エッチング工程後に除去することも好ましい。

【0660】

さらに、第三エッチング工程でのエッチングを、バッファ層の途中で止めることで、図1-18および20に示す発光装置を製作することができる(但し、絶縁膜は多層誘電体膜)。また、その際に、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わなければ、図1-17および図1-19に示す発光装置が得られる。

【0661】

(製造例 A-3)

図 1-16 に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。

【0662】

厚みが $430\text{ }\mu\text{m}$ の c 面サファイア基板 21 を用意し、この上に、まず MOCVD 法を用いて、第 1 のバッファ層 22a として厚み 20 nm の低温成長したアンドープの GaN 層を形成し、この後に第 2 のバッファ層 22b として厚み $3.5\text{ }\mu\text{m}$ のアンドープ GaN 層を 1040°C で形成した。

【0663】

次いで、第一導電型 (n 型) 第二クラッド層 24b として Si ドープ (Si 濃度 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $2\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型 (n 型) コンタクト層 24c として Si ドープ (Si 濃度 $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型 (n 型) 第一クラッド層 24a として Si ドープ (Si 濃度 $1.5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さで形成した。

【0664】

さらに活性層構造 25 として、バリア層として 850°C で 13 nm に成膜したアンドープ GaN 層と、量子井戸層として 715°C で 2 nm に成膜したアンドープ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ 層を、量子井戸層が全部で 3 層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。

【0665】

さらに成長温度を 1025°C にして、第二導電型 (p 型) 第一クラッド層 26a として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p 型) 第二クラッド層 26b として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.05\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型 (p 型) コンタクト層 26c として Mg ドープ (Mg 濃度 $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.02\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。

【0666】

この後に MOCVD 成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0667】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対して p 側電極 27 を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いて p 側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここで p 側電極として Pd (20 nm 厚) / Au (1000 nm 厚) を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施して p 側電極 27 を完成させた。尚、ここまでの工程では、p 側電極直下の p 側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0668】

次いで、発光ユニット間分離溝を形成する第二エッチング工程と、装置間分離溝を形成する第三エッチング工程を同時に実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝の形成領域と装置間分離溝の形成領域にある SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の分離エッチングマスク、すなわち、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時に実施するためのエッチングマスクを形成した。

【0669】

次いで、同時に実施する第二、第三エッチング工程として、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝に相当する部分の、p-GaN コンタクト層 26c、p-GaN 第二クラッド層 26b、p-AlGaIn 第一クラッド層 26a、InGaIn 量子井戸層と GaN バリア層からなる活性層構造 25、n-AlGaIn 第一クラッド層 24a、n-GaN コンタクト層 24c、n-GaN 第二クラッド層 24b、アンドープ GaN バッファ層 22 の一部までの薄膜結晶層を、 Cl_2 ガスを用いた ICP エッチングした。第二・第三同時エッチ

ング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。また、発光ユニット間分離溝12は、マスクの幅のとおり $6\text{ }\mu\text{m}$ で形成できた。

【0670】

第二・第三エッチング工程を同時に実施し、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたためまったく変質しなかった。

【0671】

次いで、第一導電型側電極を形成する前準備として第一導電型コンタクト層を露出させる第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 厚みの SiN_x を基板温度 400°C で、ウェハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグラフィ工程を実施して SiN_x 層をパターニングし、 SiN_x エッチングマスクを作製した。この際には、 SiN_x 膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いて SF_6 プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分は残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分の SiN_x 膜は除去した。

【0672】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、 Cl_2 ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層を露出させた。

【0673】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SiN_x マスクを SF_6 ガスを用いたRIE法によりすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、このプロセスによってもまったく変質しなかった。

【0674】

次いで、ウェハー全面にp-CVD法によって絶縁層30として SiN_x を 125 nm 厚だけウェハー全面に形成した。次いで、Pd-Auからなるp側電極27の上にp側電極露出部分を形成し、n側コンタクト層上にはn側電流注入領域を形成し、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成し、次いで SF_6 ガスのRIEプラズマを用いてレジストマスクを形成しなかった部分、すなわち、p側電極露出部分の形成と、n側コンタクト層24c上のn側電流注入領域の形成と、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を実施した。ここでは、p側電極の周辺は SiN_x 絶縁層に覆われているようにした。また、n側電流注入領域を除いて薄膜結晶層の側壁なども絶縁層に覆われているようにした。また、例えば製造例A-1、2で説明したように、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めることで図1-18の形状（図1-16は、この形状を示した。）の形成も、あるいは、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めないことで図1-17の形状も可能である。

【0675】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。

【0676】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでn側電

極としてTi (20nm厚) / Al (1500nm厚) を真空蒸着法でウェハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きく、かつ、p側電極との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。

【0677】

次いで、この素子を金属ハンダ42を用いてサブマウント40の金属面41と接合し、発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

10

【0678】

(製造例A-4)

製造例A-3において、基板および薄膜結晶層の構成を次のように変更した以外は、製造例A-3と同様にして発光装置を作製した。

【0679】

まず、厚みが300μmのc+面GaN基板21 (Si濃度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)) を用意し、この上に、まずMOCVD法を用いてバッファ層22として厚み6μmのアンダープGaNを1040℃で形成した。

【0680】

次いで、第一導電型 (n型) 第二クラッド層24bとしてSiドープ (Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) のGaN層を4μm厚に形成し、第一導電型 (n型) コンタクト層24cとしてSiドープ (Si濃度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) のGaN層を0.5μm厚に形成し、さらに第一導電型 (n型) 第一クラッド層24aとしてSiドープ (Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) のAl_{0.10}Ga_{0.90}N層を0.1μmの厚さで形成した。

20

【0681】

さらに活性層構造25として、バリア層として850℃で13nmに成膜したアンダープGaN層と、量子井戸層として715℃で2nmに成膜したアンダープIn_{0.13}Ga_{0.87}N層を、量子井戸層が全部で8層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。

【0682】

さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型 (p型) 第一クラッド層26aとしてMgドープ (Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) Al_{0.10}Ga_{0.90}Nを0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p型) 第二クラッド層26bとしてMgドープ (Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) GaNを0.05μmの厚さに形成した。最後に第二導電型 (p型) コンタクト層26cとしてMgドープ (Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) GaNを0.02μmの厚さに形成した。

30

【0683】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0684】

この後は、製造例A-3と同様にして発光装置を完成した、この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

40

【0685】

尚、製造例A-3、4では、第二および第三エッチング工程を同時に行い、その後第一エッチング工程を実施したが、第一エッチング工程を先に実施し、その後第二・第三エッチング工程を同時に実施してもよい。その場合に、第一エッチング工程で使用したSiNxマスクを除去することなく、第二・第三エッチング工程を実施することも好ましい。

【0686】

<<集積型発光装置タイプBの製造例>>

(製造例B-1)

50

図2-15に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。関連する工程図として、図2-6～10、12および14を参照する。

【0687】

厚みが430 μm のc+面サファイア基板21を用意し、この上に、まずMOCVD法を用いて、第1のバッファ層22aとして厚み10nmの低温成長したアンドープのGa_{0.99}N層を形成し、この後に第2のバッファ層22bとして厚み4 μm のアンドープGa_{0.99}N層を1040℃で形成した。

【0688】

さらに、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドープ(Si濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGa_{0.99}N層を2 μm 厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドープ(Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGa_{0.99}N層を0.5 μm 厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドープ(Si濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のAl_{0.15}Ga_{0.85}N層を0.1 μm の厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850℃で13nmの厚さに成膜したアンドープGa_{0.99}N層と、量子井戸層として720℃で2nmの厚さに成膜したアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N層とを、量子井戸層が全部で5層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Al_{0.15}Ga_{0.85}N層を0.1 μm の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Ga_{0.99}N層を0.07 μm の厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)Ga_{0.99}N層を0.03 μm の厚さに形成した。

【0689】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0690】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対してp側電極を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてp側電極27をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでp側電極としてNi(20nm厚)/Au(500nm厚)を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極を完成させた。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-6に対応する。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0691】

次いで、第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて0.4 μm 厚みのSiN_xを基板温度400℃で、ウェハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによるSiN_x成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグラフィ工程を実施してSiN_xマスクをパターニングし、SiN_xエッチングマスクを作製した。この際には、SiN_x膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いてSF₆プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分はマスクを残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分のSiN_x膜を除去した。

【0692】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGa_{0.15}N第一クラッド層26a、InGa_{0.99}N量子井戸層とGa_{0.99}Nバリア層からなる活性層構造25、n-AlGa_{0.15}N第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、Cl₂ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層24cを露出させ、同時に複数の発光ポイントの形状を形成した。

【0693】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SiN_x マスクをバッファフッ酸を用いてすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによっても、p側電極はまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-7に対応する。

【0694】

次いで、各発光装置内にある発光ユニット間分離溝12を形成する第二エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝を形成する領域の SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の発光ユニット間分離溝形成用マスク、すなわち、第二エッチング工程用 SrF_2 マスクを形成した。

10

【0695】

次いで第二エッチング工程として、発光ユニット間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24a、n-GaNコンタクト層24c、n-GaN第二クラッド層24b、アンドープGaNバッファ層22の一部までの薄膜結晶層を、 Cl_2 ガスを用いたICPエッチングした。この第二エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。発光ユニット間分離溝12の幅は、マスクの幅どおり、 $10\mu\text{m}$ で形成できた。

20

【0696】

第二エッチング工程によって発光ユニット間分離溝12を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-8に対応する。

【0697】

次いで、各々の化合物半導体発光装置間の装置間分離溝13を形成する第三エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、装置間分離溝を形成する領域部分の SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の装置間分離溝形成用マスク、すなわち、第三エッチング工程用 SrF_2 マスクを形成した。

【0698】

次いで、第三エッチング工程として、装置間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24a、n-GaNコンタクト層24c、n-GaN第二クラッド層24b、アンドープGaNバッファ層22(22a、22b)と薄膜結晶層のすべてを、 Cl_2 ガスを用いたICPエッチングした。当該第三エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。この工程により、幅 $50\mu\text{m}$ の装置間分離溝を形成した。

30

【0699】

第三エッチング工程によって装置間分離溝13を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極27表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-9に対応する。

40

【0700】

次いで、ウェハー全面にp-CVD法によって SiO_x と SiN_x をこの順に形成し、誘電体多層膜とした。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-10に対応する。

【0701】

次いで、Ni-Auからなるp側電極27上へのp側電極露出部分の形成、n側コンタクト層24c上へのn側電流注入領域(36)の形成、装置間分離溝内のアンドープバッファ層の側壁の一部に残存する絶縁層の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成した。次いでフッ酸系のエッチャントでレジス

50

トマスクを形成しなかった誘電体多層膜（絶縁層）を除去した。さらに、フッ酸によるサイドエッチングの効果によって、アンドープバッファ層の側壁の一部の誘電体多層膜（絶縁層）も除去した。ここでは、p側電極27の周辺は SiO_x と SiN_x からなる絶縁層に $150\text{ }\mu\text{m}$ 覆われているようにした。

【0702】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-12に対応する。

【0703】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでn側電極としてTi（ 20 nm 厚）/Al（ 300 nm 厚）を真空蒸着法でウェハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きくなるように、絶縁層にその周辺が $30\text{ }\mu\text{m}$ ほど接するようにし、かつ、p側電極27との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。尚、別の製造例では、 $10\text{ }\mu\text{m}$ ほど接するようにして製造し、この製造例と同等の性能の発光素子が得られた。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図2-14に対応する。

【0704】

次いで、サファイア基板の裏面側に、 MgF_2 からなる低反射光学膜45を真空蒸着法によって形成した。この際には、 MgF_2 は素子の発光波長に対して低反射コーティングとなるように、光学膜厚の $1/4$ を成膜した。

【0705】

次いで、ウェハー上に形成された1つ1つの発光装置を分割するために、レーザスクライバーを用いて薄膜結晶成長側から装置間分離溝13内にスクライブラインを形成した。さらにこのスクライブラインにそってサファイア基板と MgF_2 低反射光学膜のみをブレーキングし、1つ1つの集積型化合物半導体発光装置を完成させた。この際に、薄膜結晶層へのダメージ導入はなく、また、誘電体膜の剥離等も発生しなかった。

【0706】

次いで、この素子を金属ハンダ42を用いてサブマウント40の金属面41と接合し、図2-15に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0707】

（製造例B-2）

製造例B-1において、バッファ層22を成膜した後の薄膜結晶層の成膜を次のように行った以外は製造例B-1を繰り返した。即ち、製造例B-1で、第2のバッファ層22bとして厚み $4\text{ }\mu\text{m}$ のアンドープGaNを 1040°C で形成した後、さらに、第一導電型（n型）第二クラッド層24bとしてSiドープ（Si濃度 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ ）のGaN層を $4\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型（n型）コンタクト層24cとしてSiドープ（Si濃度 $8 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ ）のGaN層を $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型（n型）第一クラッド層24aとしてSiドープ（Si濃度 $5.0 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ ）の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として 850°C で 13 nm の厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として 720°C で 2 nm の厚さに成膜したアンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層とを、量子井戸層が全部で8層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を 1025°C にして、第二導電型（p型）第一クラッド層26aとしてMgドープ

10

20

30

40

50

(Mg 濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p 型) 第二クラッド層 26b として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) GaN を $0.07 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型 (p 型) コンタクト層 26c として Mg ドープ (Mg 濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) GaN を $0.03 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。その後は、製造例 B-1 と同様にして、図 2-15 に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0708】

尚、製造例 B-1、2 のプロセスでは、第一エッチング工程後に SiN_x マスクを除去したが、 SiN_x マスクを除去せずに、第二エッチング工程後に除去してもよいし、さら

10

【0709】

さらに、第三エッチング工程でのエッチングを、バッファ層の途中で止めることで、図 2-18 および 20 に示す発光装置を製作することができる (但し、絶縁膜は多層誘電体膜)。また、その際に、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わなければ、図 2-17 および図 2-19 に示す発光装置が得られる。

【0710】

(製造例 B-3)

図 2-16 に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。

20

【0711】

厚みが $430 \mu\text{m}$ の c 面サファイア基板 21 を用意し、この上に、まず MOCVD 法を用いて、第 1 のバッファ層 22a として厚み 20 nm の低温成長したアンドープの GaN 層を形成し、この後に第 2 のバッファ層 22b として厚み $3.5 \mu\text{m}$ のアンドープ GaN 層を 1040°C で形成した。

【0712】

次いで、第一導電型 (n 型) 第二クラッド層 24b として Si ドープ (Si 濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $2 \mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型 (n 型) コンタクト層 24c として Si ドープ (Si 濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $0.5 \mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型 (n 型) 第一クラッド層 24a として Si ドープ (Si 濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さで形成した。

30

【0713】

さらに活性層構造 25 として、バリア層として 850°C で 13 nm に成膜したアンドープ GaN 層と、量子井戸層として 715°C で 2 nm に成膜したアンドープ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ 層を、量子井戸層が全部で 3 層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。

【0714】

さらに成長温度を 1025°C にして、第二導電型 (p 型) 第一クラッド層 26a として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p 型) 第二クラッド層 26b として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.05 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型 (p 型) コンタクト層 26c として Mg ドープ (Mg 濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.02 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。

40

【0715】

この後に MOCVD 成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0716】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対して p 側電極 27 を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いて p 側電極をリフトオフ法でパターンニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここで p 側電極として Pd (20 nm 厚) / Au (1000 nm 厚)

50

を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極27を完成させた。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0717】

次いで、発光ユニット間分離溝を形成する第二エッチング工程と、装置間分離溝を形成する第三エッチング工程を同時に実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝の形成領域と装置間分離溝の形成領域にある SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の分離エッチングマスク、すなわち、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時に実施するためのエッチングマスクを形成した。

10

【0718】

次いで、同時に実施する第二、第三エッチング工程として、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24a、n-GaNコンタクト層24c、n-GaN第二クラッド層24b、アンドープGaNバッファ層22の一部までの薄膜結晶層を、 Cl_2 ガスを用いたICPエッチングした。第二・第三同時エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。また、発光ユニット間分離溝12は、マスクの幅のとおり $6\mu\text{m}$ で形成できた。

20

【0719】

第二・第三エッチング工程を同時に実施し、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたためまったく変質しなかった。

【0720】

次いで、第一導電型側電極を形成する前準備として第一導電型コンタクト層を露出させる第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて $0.4\mu\text{m}$ 厚みの SiN_x を基板温度 400°C で、ウェハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグフィー工程を実施して SiN_x 層をパターニングし、 SiN_x エッチングマスクを作製した。この際には、 SiN_x 膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いて SF_6 プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分は残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分の SiN_x 膜は除去した。

30

【0721】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、 Cl_2 ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層を露出させ、同時に複数の発光ポイントの形状を形成した。

40

【0722】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SiN_x マスクを SF_6 ガスを用いたRIE法によりすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、このプロセスによってもまったく変質しなかった。

【0723】

次いで、ウェハー全面にp-CVD法によって絶縁層30として SiN_x を 125nm 厚だけウェハー全面に形成した。次いで、Pd-Auからなるp側電極27の上にp側電極露出部分を形成し、n側コンタクト層上にはn側電流注入領域を形成し、さらに、装置

50

間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成し、次いで SF_6 ガスのRIEプラズマを用いてレジストマスクを形成しなかった部分、すなわち、p側電極露出部分の形成と、n側コンタクト層24c上のn側電流注入領域の形成と、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を実施した。ここでは、p側電極の周辺は SiN_x 絶縁層に覆われているようにした。また、n側電流注入領域を除いて薄膜結晶層の側壁なども絶縁層に覆われているようにした。さらに1つの発光ユニット内においては、n側電流注入領域の数と面積とを、p側電流注入領域の数と面積よりも少なく、かつ小さくなるように絶縁層の除去を実施した。また、例えば製造例B-1、2で説明したように、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めることで図2-18の形状(図2-16は、この形状を示した。)の形成も、あるいは、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めないことで図2-17の形状も可能である。

10

【0724】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。

【0725】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターンニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでは、発光ユニット内のn側電極の数と面積とをp側電極の数と面積よりも少なく、かつ小さくなるようにパターンニングした。ここでn側電極としてTi(20nm厚)/Al(1500nm厚)を真空蒸着法でウェハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きく、かつ、p側電極との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。

20

30

【0726】

次いで、この素子を金属ハンダ42を用いてサブマウント40の金属面41と接合し、発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0727】

(製造例B-4)

製造例B-3において、基板および薄膜結晶層の構成を次のように変更した以外は、製造例B-3と同様にして発光装置を作製した。

【0728】

まず、厚みが300 μm のc+面GaN基板21(Si 濃度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を用意し、この上に、まずMOCVD法を用いてバッファ層22として厚み6 μm のアンダーブGaNを1040 $^{\circ}\text{C}$ で形成した。

40

【0729】

次いで、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドーブ(Si 濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を4 μm 厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドーブ(Si 濃度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を0.5 μm 厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドーブ(Si 濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)の $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 層を0.1 μm の厚さで形成した。

【0730】

さらに活性層構造25として、バリア層として850 $^{\circ}\text{C}$ で13nmに成膜したアンダーブGaN層と、量子井戸層として715 $^{\circ}\text{C}$ で2nmに成膜したアンダーブ $\text{In}_{0.13}\text{G}$

50

a_{0.87}N層を、量子井戸層が全部で8層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。

【0731】

さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Al_{0.10}Ga_{0.90}Nを0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)GaNを0.05μmの厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)GaNを0.02μmの厚さに形成した。

【0732】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0733】

この後は、製造例B-3と同様にして発光装置を完成した、この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0734】

尚、製造例B-3、4では、第二および第三エッチング工程を同時に行い、その後第一エッチング工程を実施したが、第一エッチング工程を先に実施し、その後第二・第三エッチング工程を同時に実施してもよい。その場合に、第一エッチング工程で使用したSiNxマスクを除去することなく、第二・第三エッチング工程を実施することも好ましい。

【0735】

<<集積型発光装置タイプCの製造例>>

(製造例C-1)

図3-11に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。関連する工程図として、図3-4~10を参照する。

【0736】

厚みが430μmのc+面サファイア基板21を用意し、この上に、まずMOCVD法を用いて、第1のバッファ層22aとして厚み10nmの低温成長したアンドープのGaN層を形成し、この後に第2のバッファ層22bとして厚み4μmのアンドープGaN層を1040℃で形成した。

【0737】

さらに、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドープ(Si濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を2μm厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドープ(Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を0.5μm厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドープ(Si濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のAl_{0.15}Ga_{0.85}N層を0.1μmの厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850℃で13nmの厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として720℃で2nmの厚さに成膜したアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N層とを、量子井戸層が全部で5層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Al_{0.15}Ga_{0.85}N層を0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)GaN層を0.07μmの厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)GaN層を0.03μmの厚さに形成した。

【0738】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0739】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対してp側電極を形成するために、フォトリソグラ

10

20

30

40

50

フィー法を用いてp側電極27をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでp側電極としてNi(20nm厚)/Au(500nm厚)を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極を完成させた。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-4に対応する。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0740】

次いで、第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて0.4μm厚みのSiN_xを基板温度400℃で、ウエハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによるSiN_x成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグフィー工程を実施してSiN_xマスクをパターニングし、SiN_xエッチングマスクを作製した。この際には、SiN_x膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いてSF₆プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分はマスクを残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分のSiN_x膜を除去した。

【0741】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、Cl₂ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層24cを露出させた。

【0742】

ICPプラズマエッチング終了後は、SiN_xマスクをバッファフッ酸を用いてすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによるSiN_x成膜プロセスによっても、p側電極はまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-5に対応する。

【0743】

次いで、各発光装置内にある発光ユニット間分離溝12を形成する第二エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝を形成する領域のSrF₂膜を除去し、薄膜結晶層の発光ユニット間分離溝形成用マスク、すなわち、第二エッチング工程用SrF₂マスクを形成した。

【0744】

次いで、第二エッチング工程として、発光ユニット間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24a、n-GaNコンタクト層24c、n-GaN第二クラッド層24b、アンドープGaNバッファ層22の一部までの薄膜結晶層を、Cl₂ガスを用いたICPエッチングした。この第二エッチング工程中には、SrF₂マスクはほとんどエッチングされなかった。発光ユニット間分離溝12の幅は、マスクの幅どおり、10μmで形成できた。

【0745】

第二エッチング工程によって発光ユニット間分離溝12を形成後は、不要となったSrF₂マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-6に対応する。

【0746】

次いで、各々の化合物半導体発光装置間の装置間分離溝13を形成する第三エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した。次いで、装置間分離溝を形成する領域部分のSrF₂膜を除去し、薄膜結晶層の装置間

10

20

30

40

50

分離溝形成用マスク、すなわち、第三エッチング工程用 SrF_2 マスクを形成した。

【0747】

次いで、第三エッチング工程として、装置間分離溝に相当する部分の、 p-GaN コンタクト層26c、 p-GaN 第二クラッド層26b、 p-AlGaN 第一クラッド層26a、 InGaN 量子井戸層と GaN バリア層からなる活性層構造25、 n-AlGaN 第一クラッド層24a、 n-GaN コンタクト層24c、 n-GaN 第二クラッド層24b、アンドープ GaN バッファ層22(22a、22b)と薄膜結晶層のすべてを、 Cl_2 ガスを用いたICPエッチングした。当該第三エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。この工程により、幅50 μm の装置間分離溝を形成した。

10

【0748】

第三エッチング工程によって装置間分離溝13を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極27表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-7に対応する。

【0749】

次いで、ウェハー全面に p-CVD 法によって SiO_x と SiN_x をこの順に形成し、誘電体多層膜とした。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-8に対応する。

【0750】

次いで、 Ni-Au からなるp側電極27上へのp側電極露出部分の形成、n側コンタクト層24c上へのn側電流注入領域(36)の形成、装置間分離溝内のアンドープバッファ層の側壁の一部に残存する絶縁層の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成した。次いでフッ酸系のエッチャントでレジストマスクを形成しなかった誘電体多層膜(絶縁層)を除去した。さらに、フッ酸によるサイドエッチングの効果によって、アンドープバッファ層の側壁の一部の誘電体多層膜(絶縁層)も除去した。ここでは、p側電極27の周辺は SiO_x と SiN_x からなる絶縁層に150 μm 覆われているようにした。

20

【0751】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、 p-CVD による SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-9に対応する。

30

【0752】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでn側電極として $\text{Ti } 20\text{nm} / \text{Al } 300\text{nm}$ を真空蒸着法でウェハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きくなるように、絶縁層にその周辺が30 μm ほど接するようにし、かつ、p側電極27との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。尚、別の製造例では、10 μm ほど接するようにして製造し、この製造例と同等の性能の発光素子が得られた。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図3-10に対応する。

40

【0753】

次いで、基板剥離を実施する前準備として、支持体40として、表面に $\text{Ni} / \text{Pt} / \text{Au}$ の積層構造の金属配線(金属層41)が形成されたSi基板を用意した。この支持体に、発光装置が作りこまれたウェハー(基板21上の薄膜結晶層、電極、絶縁層等)全体を、 AuSn ハンダを用いて接合した。接合時には、支持体40と発光装置が形成されたウェハーを300 $^{\circ}\text{C}$ に加熱してp側電極とn側電極が、それぞれ設計された支持体上の金

50

属配線にAuSnハンダで融着されるようにした。この際に、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0754】

次に、基板剥離を実施するために、エキシマレーザ(248nm)を、薄膜結晶成長を実施していない基板21面から照射し、基板を剥離した(レーザディボンディング)。この後に、GaNバッファ層の一部が窒素と金属Gaに分解されることで発生したGa金属をウェットエッチングによって除去した。

【0755】

次いで、支持体40に金属ハンダ42で融着されている極薄膜の発光素子のバッファ層側に、アルミナからなる低反射光学膜45をスパッタ法によって形成した。この際には、アルミナは素子の発光波長に対して低反射コーティングとなるように、光学膜厚として発光波長の1/4を成膜した。

【0756】

最後に、1つ1つの発光装置を分割するために、ダイシングソーを用いて、支持体内の素子分離領域部分をカットした。ここで、支持体内素子分離領域には、金属配線等が存在しなかったことから意図しない配線の剥離等は発生しなかった。このようにして、図3-11に示す集積型の化合物半導体発光素子を完成させた。

【0757】

(製造例C-2)

製造例C-1において、バッファ層22を成膜した後の薄膜結晶層の成膜を次のように行った以外は製造例C-1を繰り返した。即ち、製造例C-1で、第2のバッファ層22bとして厚み4μmのアンドープGaNを1040℃で形成した後、さらに、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドープ(Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を4μm厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドープ(Si濃度 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を0.5μm厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドープ(Si濃度 $5.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のAl_{0.10}Ga_{0.90}N層を0.1μmの厚さに形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850℃で13nmの厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として720℃で2nmの厚さに成膜したアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N層とを、量子井戸層が全部で8層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Al_{0.10}Ga_{0.90}Nを0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)GaNを0.07μmの厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)GaNを0.03μmの厚さに形成した。その後は、製造例C-1と同様にして、図3-11に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0758】

尚、製造例C-1、2のプロセスでは、第一エッチング工程後にSiN_xマスクを除去したが、SiN_xマスクを除去せずに、第二エッチング工程後に除去してもよいし、さらには第三エッチング工程後に除去することも好ましい。

【0759】

さらに、第三エッチング工程でのエッチングを、バッファ層の途中で止めることで、図3-14、図3-16に示す発光装置を製作することができる(但し、絶縁膜は多層誘電体膜)。また、その際に、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わなければ、図3-13、図3-15に示す発光装置が得られる。

【0760】

(製造例C-3)

図 3-12 に示す半導体発光装置を以下の手順で作製した。

【0761】

厚みが $430\text{ }\mu\text{m}$ の c 面サファイア基板 21 を用意し、この上に、まず MOCVD 法を用いて、第 1 のバッファ層 22a として厚み 10 nm の低温成長したアンドープの GaN 層を形成し、この後に第 2 のバッファ層 22b として厚み $3.5\text{ }\mu\text{m}$ のアンドープ GaN 層を 1040°C で形成した。

【0762】

次いで、第一導電型 (n 型) 第二クラッド層 24b として Si ドープ (Si 濃度 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $2\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型 (n 型) コンタクト層 24c として Si ドープ (Si 濃度 $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型 (n 型) 第一クラッド層 24a として Si ドープ (Si 濃度 $1.5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さで形成した。

【0763】

さらに活性層構造 25 として、バリア層として 850°C で 13 nm に成膜したアンドープ GaN 層と、量子井戸層として 715°C で 2 nm に成膜したアンドープ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ 層を、量子井戸層が全部で 3 層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。

【0764】

さらに成長温度を 1025°C にして、第二導電型 (p 型) 第一クラッド層 26a として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p 型) 第二クラッド層 26b として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.05\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型 (p 型) コンタクト層 26c として Mg ドープ (Mg 濃度 $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.02\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。

【0765】

この後に MOCVD 成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0766】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対して p 側電極 27 を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いて p 側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここで p 側電極として Pd (20 nm 厚) / Au (1000 nm 厚) を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施して p 側電極 27 を完成させた。尚、ここまでの工程では、p 側電極直下の p 側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0767】

次いで、発光ユニット間分離溝を形成する第二エッチング工程と、装置間分離溝を形成する第三エッチング工程を同時に実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝の形成領域と装置間分離溝の形成領域にある SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の分離エッチングマスク、すなわち、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時に実施するためのエッチングマスクを形成した。

【0768】

次いで、同時に実施する第二、第三エッチング工程として、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝に相当する部分の、p-GaN コンタクト層 26c、p-GaN 第二クラッド層 26b、p-AlGaIn 第一クラッド層 26a、InGaIn 量子井戸層と GaN バリア層からなる活性層構造 25、n-AlGaIn 第一クラッド層 24a、n-GaN コンタクト層 24c、n-GaN 第二クラッド層 24b、アンドープ GaN バッファ層 22 の一部までの薄膜結晶層を、 Cl_2 ガスを用いた ICP エッチングした。第二・第三同時エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。また、発光ユニッ

ト間分離溝12は、マスクの幅のとおり6 μm で形成できた。

【0769】

第二・第三エッチング工程を同時に実施し、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたためまったく変質しなかった。

【0770】

次に、第一導電型側電極を形成する前準備として第一導電型コンタクト層を露出させる第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、真空蒸着法を用いて SrF_2 をウエハー全面に製膜した。次に再度フォトリソグフィー工程を実施して SrF_2 マスクをパターニングし、第一エッチング用のマスクを作製した。

10

【0771】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、 Cl_2 ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層を露出させた。

【0772】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SrF_2 マスクをすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、これらのプロセスによってもまったく変質しなかった。

20

【0773】

次いで、ウエハー全面にp-CVD法によって絶縁層30として SiN_x を125nm厚だけウエハー全面に形成した。次いで、Pd-Auからなるp側電極27の上にp側電極露出部分を形成し、n側コンタクト層上にはn側電流注入領域を形成し、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成し、次いで SF_6 ガスのRIEプラズマを用いてレジストマスクを形成しなかった部分、すなわち、p側電極露出部分の形成と、n側コンタクト層24c上のn側電流注入領域の形成と、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を実施した。ここでは、p側電極の周辺は SiN_x 絶縁層に覆われているようにした。また、n側電流注入領域を除いて薄膜結晶層の側壁なども絶縁層に覆われているようにした。また、例えば製造例C-1、2で説明したように、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めることで図3-14の形状(図3-12は、この形状を示した。)の形成も、あるいは、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めないことで図3-13の形状も可能である。

30

【0774】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、pまったく変質しなかった。

40

【0775】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでn側電極としてTi(20nm厚)/Al(1500nm厚)を真空蒸着法でウエハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きく、かつ、p側電極との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの

50

最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。

【0776】

次いで、基板剥離を実施する前準備として、支持体40として、表面にTi/Pt/Auの積層構造の金属配線（金属層41）が形成されたAlN基板を用意した。この支持体に、発光装置が作りこまれたウエハー（基板21上の薄膜結晶層、電極、絶縁層等）全体を、AuSnハンダを用いて接合した。接合時には、支持体40と発光装置が形成されたウエハーを300℃に加熱してp側電極とn側電極が、それぞれ設計された支持体上の金属配線にAuSnハンダで融着されるようにした。この際に、この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0777】

次に、基板剥離を実施するために、エキシマレーザ（248nm）を、薄膜結晶成長を実施していない基板21面から照射し、基板を剥離した（レーザディボンディング）。この後に、GaNバッファ層の一部が窒素と金属Gaに分解されることで発生したGa金属をウェットエッチングによって除去した。

【0778】

最後に、1つ1つの発光装置を分割するために、ダイシングソーを用いて、支持体内の素子分離領域部分を、装置間分離溝底部のバッファ層と共にカットした。ここで、支持体内素子分離領域には、金属配線等が存在しなかったことから意図しない配線の剥離等は発生しなかった。このようにして、図3-12に示す集積型の化合物半導体発光素子を完成させた。

【0779】

<<集積型発光装置タイプDの製造例>>

（製造例D-1）

図4-11に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。関連する工程図として、図4-4～10を参照する。

【0780】

厚みが430μmのc+面サファイア基板21を用意し、この上に、まずMOCVD法を用いて、第1のバッファ層22aとして厚み10nmの低温成長したアンドープのGaN層を形成し、この後に第2のバッファ層22bとして厚み4μmのアンドープGaN層を1040℃で形成した。

【0781】

さらに、第一導電型（n型）第二クラッド層24bとしてSiドープ（Si濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）のGaN層を2μm厚に形成し、第一導電型（n型）コンタクト層24cとしてSiドープ（Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）のGaN層を0.5μm厚に形成し、さらに第一導電型（n型）第一クラッド層24aとしてSiドープ（Si濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を0.1μmの厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850℃で13nmの厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として720℃で2nmの厚さに成膜したアンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層とを、量子井戸層が全部で5層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型（p型）第一クラッド層26aとしてMgドープ（Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ） $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型（p型）第二クラッド層26bとしてMgドープ（Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）GaN層を0.07μmの厚さに形成した。最後に第二導電型（p型）コンタクト層26cとしてMgドープ（Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ）GaN層を0.03μmの厚さに形成した。

【0782】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウエハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0783】

薄膜結晶成長が終了したウエハーに対してp側電極を形成するために、フォトリソグラ

10

20

30

40

50

フィー法を用いてp側電極27をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでp側電極としてNi(20nm厚)/Au(500nm厚)を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極を完成させた。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図4-4に対応する。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0784】

次いで、第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて0.4μm厚みのSiN_xを基板温度400℃で、ウエハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによるSiN_x成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグフィー工程を実施してSiN_xマスクをパターニングし、SiN_xエッチングマスクを作製した。この際には、SiN_x膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いてSF₆プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分はマスクを残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分のSiN_x膜を除去した。

【0785】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、Cl₂ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層24cを露出させ、同時に複数の発光ポイントの形状を形成した。

【0786】

ICPプラズマエッチング終了後は、SiN_xマスクをバッファフッ酸を用いてすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによるSiN_x成膜プロセスによっても、p側電極はまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図4-5に対応する。

【0787】

次いで、各発光装置内にある発光ユニット間分離溝12を形成する第二エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝を形成する領域のSrF₂膜を除去し、薄膜結晶層の発光ユニット間分離溝形成用マスク、すなわち、第二エッチング工程用SrF₂マスクを形成した。

【0788】

次いで、第二エッチング工程として、発光ユニット間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24a、n-GaNコンタクト層24c、n-GaN第二クラッド層24b、アンドープGaNバッファ層22の一部までの薄膜結晶層を、Cl₂ガスを用いたICPエッチングした。この第二エッチング工程中には、SrF₂マスクはほとんどエッチングされなかった。発光ユニット間分離溝12の幅は、マスクの幅どおり、10μmで形成できた。

【0789】

第二エッチング工程によって発光ユニット間分離溝12を形成後は、不要となったSrF₂マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図4-6に対応する。

【0790】

次いで、各々の化合物半導体発光装置間の装置間分離溝13を形成する第三エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した

10

20

30

40

50

。次いで、装置間分離溝を形成する領域部分の SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の装置間分離溝形成用マスク、すなわち、第三エッチング工程用 SrF_2 マスクを形成した。

【0791】

次いで、第三エッチング工程として、装置間分離溝に相当する部分の、 p-GaN コンタクト層 26c、 p-GaN 第二クラッド層 26b、 p-AlGaN 第一クラッド層 26a、 InGaN 量子井戸層と GaN バリア層からなる活性層構造 25、 n-AlGaN 第一クラッド層 24a、 n-GaN コンタクト層 24c、 n-GaN 第二クラッド層 24b、アンドープ GaN バッファ層 22 (22a、22b) と薄膜結晶層のすべてを、 Cl_2 ガスを用いた ICP エッチングした。当該第三エッチング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。この工程により、幅 $50\text{ }\mu\text{m}$ の装置間分離溝を形成した。

10

【0792】

第三エッチング工程によって装置間分離溝 13 を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいても p 側電極 27 表面には Au が露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 4-7 に対応する。

【0793】

次いで、ウエハー全面に p-CVD 法によって SiO_x と SiN_x をこの順に形成し、誘電体多層膜とした。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 4-8 に対応する。

【0794】

次いで、 Ni-Au からなる p 側電極 27 上への p 側電極露出部分の形成、 n 側コンタクト層 24c 上への n 側電流注入領域 (36) の形成、装置間分離溝内のアンドープバッファ層の側壁の一部に残存する絶縁層の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成した。次いでフッ酸系のエッチャントでレジストマスクを形成しなかった誘電体多層膜 (絶縁層) を除去した。さらに、フッ酸によるサイドエッチングの効果によって、アンドープバッファ層の側壁の一部の誘電体多層膜 (絶縁層) も除去した。ここでは、 p 側電極 27 の周辺は SiO_x と SiN_x からなる絶縁層に $150\text{ }\mu\text{m}$ 覆われているようにした。

20

【0795】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、 RIE 法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、 p 側電極表面には Au が露出していたため、 p-CVD による SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 4-9 に対応する。

30

【0796】

次いで、 n 側電極 28 を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いて n 側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここで n 側電極として $\text{Ti } 20\text{ nm} / \text{Al } 300\text{ nm}$ を真空蒸着法でウエハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施して n 側電極を完成させた。 n 側電極は、その面積が n 側電流注入領域よりも大きくなるように、絶縁層にその周辺が $30\text{ }\mu\text{m}$ ほど接するようにし、かつ、 p 側電極 27 との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。尚、別の製造例では、 $10\text{ }\mu\text{m}$ ほど接するようにして製造し、この製造例と同等の性能の発光素子が得られた。 Al 電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後に n 側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図 4-10 に対応する。

40

【0797】

次いで、基板剥離を実施する前準備として、支持体 40 として、表面に $\text{Ni} / \text{Pt} / \text{Au}$ の積層構造の金属配線 (金属層 41) が形成された Si 基板を用意した。この支持体には、発光装置が作りこまれたウエハー (基板 21 上の薄膜結晶層、電極、絶縁層等) 全体を、 AuSn ハンダを用いて接合した。接合時には、支持体 40 と発光装置が形成されたウ

50

エハーを300℃に加熱してp側電極とn側電極が、それぞれ設計された支持体上の金属配線にAuSnハンダで融着されるようにした。この際に、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0798】

次に、基板剥離を実施するために、エキシマレーザ(248nm)を、薄膜結晶成長を実施していない基板21面から照射し、基板を剥離した(レーザディボンディング)。この後に、GaNバッファ層の一部が窒素と金属Gaに分解されることで発生したGa金属をウェットエッチングによって除去した。

【0799】

次いで、支持体40に金属ハンダ42で融着されている極薄膜の発光素子のバッファ層側に、アルミナからなる低反射光学膜45をスパッタ法によって形成した。この際には、アルミナは素子の発光波長に対して低反射コーティングとなるように、光学膜厚として発光波長の1/4を成膜した。

【0800】

最後に、1つ1つの発光装置を分割するために、ダイシングソーを用いて、支持体内の素子分離領域部分をカットした。ここで、支持体内素子分離領域には、金属配線等が存在しなかったことから意図しない配線の剥離等は発生しなかった。このようにして、図4-11に示す集積型の化合物半導体発光素子を完成させた。

【0801】

(製造例D-2)

製造例D-1において、バッファ層22を成膜した後の薄膜結晶層の成膜を次のように行った以外は製造例D-1を繰り返した。即ち、製造例D-1で、第2のバッファ層22bとして厚み4μmのアンドープGaNを1040℃で形成した後、さらに、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドープ(Si濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を4μm厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドープ(Si濃度 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のGaN層を0.5μm厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドープ(Si濃度 $5.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)のAl_{0.10}Ga_{0.90}N層を0.1μmの厚さで形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850℃で13nmの厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として720℃で2nmの厚さに成膜したアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N層とを、量子井戸層が全部で8層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025℃にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Al_{0.10}Ga_{0.90}Nを0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)GaNを0.07μmの厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)GaNを0.03μmの厚さに形成した。その後は、製造例D-1と同様にして、図4-11に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0802】

尚、製造例D-1、2のプロセスでは、第一エッチング工程後にSiN_xマスクを除去したが、SiN_xマスクを除去せずに、第二エッチング工程後に除去してもよいし、さらには第三エッチング工程後に除去することも好ましい。

【0803】

さらに、第三エッチング工程でのエッチングを、バッファ層の途中で止めることで、図4-14、図4-16に示す発光装置を製作することができる(但し、絶縁膜は多層誘電体膜)。また、その際に、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わなければ、図4-13、図4-15に示す発光装置が得られる。

【0804】

(製造例 D-3)

図 4-12 に示す半導体発光装置を以下の手順で作製した。

【0805】

厚みが $430\text{ }\mu\text{m}$ の c 面サファイア基板 21 を用意し、この上に、まず MOCVD 法を用いて、第 1 のバッファ層 22a として厚み 10 nm の低温成長したアンドープの GaN 層を形成し、この後に第 2 のバッファ層 22b として厚み $3.5\text{ }\mu\text{m}$ のアンドープ GaN 層を 1040°C で形成した。

【0806】

次いで、第一導電型 (n 型) 第二クラッド層 24b として Si ドープ (Si 濃度 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $2\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型 (n 型) コンタクト層 24c として Si ドープ (Si 濃度 $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の GaN 層を $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型 (n 型) 第一クラッド層 24a として Si ドープ (Si 濃度 $1.5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さで形成した。

【0807】

さらに活性層構造 25 として、バリア層として 850°C で 13 nm に成膜したアンドープ GaN 層と、量子井戸層として 715°C で 2 nm に成膜したアンドープ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ 層を、量子井戸層が全部で 3 層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。

【0808】

さらに成長温度を 1025°C にして、第二導電型 (p 型) 第一クラッド層 26a として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p 型) 第二クラッド層 26b として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.05\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型 (p 型) コンタクト層 26c として Mg ドープ (Mg 濃度 $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$) GaN 層を $0.02\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに形成した。

【0809】

この後に MOCVD 成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウェハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0810】

薄膜結晶成長が終了したウェハーに対して p 側電極 27 を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いて p 側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここで p 側電極として Pd (20 nm 厚) / Au (1000 nm 厚) を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施して p 側電極 27 を完成させた。尚、ここまでの工程では、p 側電極直下の p 側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0811】

次いで、発光ユニット間分離溝を形成する第二エッチング工程と、装置間分離溝を形成する第三エッチング工程を同時に実施するために、真空蒸着法を用いて、 SrF_2 マスクをウェハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝の形成領域と装置間分離溝の形成領域にある SrF_2 膜を除去し、薄膜結晶層の分離エッチングマスク、すなわち、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時に実施するためのエッチングマスクを形成した。

【0812】

次いで、同時に実施する第二、第三エッチング工程として、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝に相当する部分の、p-GaN コンタクト層 26c、p-GaN 第二クラッド層 26b、p-AlGaIn 第一クラッド層 26a、InGaIn 量子井戸層と GaN バリア層からなる活性層構造 25、n-AlGaIn 第一クラッド層 24a、n-GaN コンタクト層 24c、n-GaN 第二クラッド層 24b、アンドープ GaN バッファ層 22 の一部までの薄膜結晶層を、 Cl_2 ガスを用いた ICP エッチングした。第二・第三同時エッチ

10

20

30

40

50

ング工程中には、 SrF_2 マスクはほとんどエッチングされなかった。また、発光ユニット間分離溝12は、マスクの幅のとおり $6\text{ }\mu\text{m}$ で形成できた。

【0813】

第二・第三エッチング工程を同時に実施し、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝を形成後は、不要となった SrF_2 マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたためまったく変質しなかった。

【0814】

次に、第一導電型側電極を形成する前準備として第一導電型コンタクト層を露出させる第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、真空蒸着法を用いて SrF_2 をウェハー全面に製膜した。次に再度フォトリソグラフィ工程を実施して SrF_2 マスクをパターニングし、第一エッチング用のマスクを作製した。

10

【0815】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGaN第一クラッド層26a、InGaN量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGaN第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、 Cl_2 ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層を露出させ、同時に複数の発光ポイントの形状を形成した。

【0816】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SrF_2 マスクをすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、これらのプロセスによってもまったく変質しなかった。

20

【0817】

次いで、ウェハー全面にp-CVD法によって絶縁層30として SiN_x を 125 nm 厚だけウェハー全面に形成した。次いで、Pd-Auからなるp側電極27の上にp側電極露出部分を形成し、n側コンタクト層上にはn側電流注入領域を形成し、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成し、次いで SF_6 ガスのRIEプラズマを用いてレジストマスクを形成しなかった部分、すなわち、p側電極露出部分の形成と、n側コンタクト層24c上のn側電流注入領域の形成と、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を実施した。ここでは、p側電極の周辺は SiN_x 絶縁層に覆われているようにした。また、n側電流注入領域を除いて薄膜結晶層の側壁なども絶縁層に覆われているようにした。さらに1つの発光ユニット内においては、n側電流注入領域の数と面積とを、p側電流注入領域の数と面積よりも少なく、かつ小さくなるように絶縁層の除去を実施した。また、例えば製造例D-1、2で説明したように、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めることで図4-14の形状（図4-12は、この形状を示した。）の形成も、あるいは、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めないことで図4-13の形状も可能である。

30

40

【0818】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、pまったく変質しなかった。

【0819】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでは、発光ユニット内のn側電極の数と面積とをp側電極の数と面積よりも少なく、かつ小さくなるようにパターニングした。ここでn側電極としてTi (20 nm 厚)/Al (1500

50

n m 厚) を真空蒸着法でウェハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn 側電極を完成させた。n 側電極は、その面積がn 側電流注入領域よりも大きく、かつ、p 側電極との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。Al 電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn 側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。

【0820】

次いで、基板剥離を実施する前準備として、支持体40として、表面にTi/Pt/Auの積層構造の金属配線(金属層41)が形成されたAlN基板を用意した。この支持体に、発光装置が作りこまれたウェハー(基板21上の薄膜結晶層、電極、絶縁層等)全体を、AuSnハンダを用いて接合した。接合時には、支持体40と発光装置が形成されたウェハーを300℃に加熱してp 側電極とn 側電極が、それぞれ設計された支持体上の金属配線にAuSnハンダで融着されるようにした。この際に、この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

10

【0821】

次に、基板剥離を実施するために、エキシマレーザ(248nm)を、薄膜結晶成長を実施していない基板21面から照射し、基板を剥離した(レーザディボンディング)。この後に、GaNバッファ層の一部が窒素と金属Gaに分解されることで発生したGa金属をウェットエッチングによって除去した。

20

【0822】

最後に、1つ1つの発光装置を分割するために、ダイシングソーを用いて、支持体内の素子分離領域部分を、装置間分離溝底部のバッファ層と共にカットした。ここで、支持体内素子分離領域には、金属配線等が存在しなかったことから意図しない配線の剥離等は発生しなかった。このようにして、図4-12に示す集積型の化合物半導体発光素子を完成させた。

【0823】

<<光取り出し材料の製造例>>

<製造例5-1>

WO2006/303328の実施例1-1に記載の合成方法により、モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズジャパン合同会社製の両末端シラノールジメチルシリコンオイルXC96-723(オリゴマー)698.3gと、フェニルトリメトキシシラン69.8gと、触媒として5重量%アルミニウムアセチルアセトン塩メタノール溶液153.4gと、水18.3gとを、攪拌翼及びコンデンサを取り付けた三つロコルベン中に計量し、室温にて大気圧下15分攪拌し、初期加水分解を行なった後に、約75℃にて4時間攪拌しつつ還流させた。

30

【0824】

この後、内温が100℃になるまでメタノール及び低沸ケイ素成分を留去し、さらに100℃で4時間攪拌しつつ還流させた。反応液を室温まで冷却し、加水分解・重縮合液を調液した。この液の加水分解率はフェニルトリメトキシシランに対し192%である。なお原料XC96-723は200%加水分解品に相当する。

40

【0825】

光取り出し材料の物性確認のため、このようにして得られた加水分解・重縮合液3gを直径5cmのテフロン(登録商標)シャーレに入れ、防爆炉中、微風下、50℃で30分間保持して第1の乾燥を行い、次いで120℃で1時間、続いて150℃で3時間保持し第2の乾燥を行ったところ、厚さ約0.5mmの独立した円形透明エラストマー状膜が得られた。これをサンプルとして用いて、固体Si-NMRスペクトル測定、シラノール含有率の算出、硬度測定、紫外耐光性試験、耐熱性試験(透過率)、およびケイ素含有率の測定を行った。さらに、上記の加水分解・重縮合液を用いて、耐リフロー試験および屈折率の測定を行った。

50

【0826】

これらの試験条件を以下に示す。

【0827】

(固体Si-NRスペクトル測定)

前述したとおりである。

【0828】

(シラノール含有率の算出)

前述したとおりである。

【0829】

(硬度)

10

古里精機製作所製A型(デュロメータタイプA)ゴム硬度計を使用し、JIS K6253に準拠して硬度(ショアA)を測定した。

【0830】

(耐紫外光性試験)

耐紫外光性試験は、上記サンプルに以下の条件で紫外光を照射し、照射前後のサンプルの様子を比較することによって行なった。

【0831】

紫外光照射条件：松下電工製水銀キセノンランプUV照射装置Aicure(登録商標) SPOT TYPE ANUP5203(光ファイバ出光面における出力：28000W/m²)を波長385nm以下のUVカットフィルタと組み合わせて使用した。照射ファイバ先とUVカットフィルタとの間、およびUVカットフィルタとサンプルとの間に隙間が無い状態で紫外光を24時間照射した。照射面に照射された光の照度をウシオ電機社製436nm受光素子照度計UVD-436PD(感度波長域：360nm～500nm)にて測定したところ、4500W/m²であった。

20

【0832】

(耐熱性試験)

上記サンプルを、温度200℃とした通風乾燥機中で500時間保持し、保持前後の、波長400nmの光の透過率を比較した。

【0833】

(ケイ素含有率)

30

前述したとおりである。

【0834】

(耐リフロー試験)

耐リフロー試験は、以下の手順で行なった。

【0835】

(1) 上記の加水分解・重縮合液を、直径9mm、深さ1mmの、表面にAgメッキを施した銅製カップに滴下し、所定の硬化条件で硬化させて耐リフロー試験用のサンプルを10個作製した。

【0836】

(2) 縦長さ×横長さ×厚さ=25mm×70mm×1mmのアルミ板に放熱用シリコングリスを薄く塗り、その上にサンプルを並べて温度85℃、湿度85%の雰囲気(以下、「吸湿環境」という)下で1時間吸湿させた。

40

【0837】

(3) 吸湿させたサンプルを吸湿環境下から取り出し、室温(20℃～25℃)まで冷却した。冷却したサンプルを、260℃に設定したホットプレート上にアルミ板ごと載置し、1分間保持した。この条件においてサンプルの温度は約50秒で260℃に達し、その後、この温度を10秒間保持した。

【0838】

(4) 加熱後のサンプルをアルミ板ごと、室温とされたステンレス製の冷却板の上に置き、室温まで冷却した。目視および顕微鏡観察により、銅製のカップからのサンプルの剥

50

離の有無を観察した。わずかでも剥離が観察されたものは「剥離有」とする。

【0839】

(5) 全てのサンプルについて剥離の観察を行ない、剥離率を求めた。剥離率は、「剥離したサンプルの個数／全サンプル数」により算出する。

【0840】

(屈折率の測定)

光取り出し材料の屈折率は、液浸法（固体対象）の他、P u l f l i c h 屈折計、A b b e 屈折計、プリズムカプラー法、干渉法、最小偏角法などの公知の方法を用いて測定することができる。この製造例および以下に述べる製造例による光取り出し材料は、硬化前後で屈折率が変化しないため、光構えの液体状態においてA b b e 屈折計（ナトリウムD 線（589nm））により屈折率を測定した。

10

【0841】

以下に、測定結果および試験結果を示す。

【0842】

(a) ピークトップの位置がシリコーンゴムを基準としてケミカルシフトー40ppm以上、0ppm以下の領域にあり、ピークの半値幅が0.3ppm以上、3.0ppm以下であるピーク：2本以上。

【0843】

(b) ピークトップの位置がシリコーンゴムを基準としてケミカルシフトー80ppm以上、-40ppm未満の領域にあり、ピークの半値幅が0.3ppm以上5.0ppm以下であるピーク：2本以上。

20

【0844】

シラノール含有量（重量％）：0.30

硬度（ショアA）：27

紫外線耐光試験（72時間）：変化無し

耐熱試験（200℃）：変化無し

耐リフロー試験：剥離脱落なし（剥離率＝0％）

ケイ素含有率（重量％）：38

屈折率：1.42

【0845】

30

<製造例5-2>

モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズジャパン合同会社製両末端シラノールジメチルシリコーンオイルXC96-723を140g、フェニルトリメトキシシランを14g、および触媒としてジルコニウムテトラアセチルアセトネート粉末を0.308g用意し、これを攪拌翼とコンデンサとを取り付けた三口コルベン中に計量し、室温にて15分触媒が十分溶解するまで攪拌した。この後、反応液を120度まで昇温し、120度全還流下で30分間攪拌しつつ初期加水分解を行った。

【0846】

続いて窒素をSV20で吹き込み生成メタノール及び水分、副生物の低沸ケイ素成分を留去しつつ120℃で攪拌し、さらに6時間重合反応を進めた。なお、ここで「SV」とは「Space Velocity」の略称であり、単位時間当たりの吹き込み体積量を指す。よって、SV20とは、1時間に反応液の20倍の体積のN₂を吹き込むことをいう。

40

【0847】

窒素の吹き込みを停止し反応液をいったん室温まで冷却した後、ナス型フラスコに反応液を移し、ロータリーエバポレーターを用いてオイルバス上120℃、1kPaで20分間微量に残留しているメタノール及び水分、低沸ケイ素成分を留去し、無溶剤の加水分解・重縮合液を得た。

【0848】

光取り出し材料の物性確認のため、このようにして得られた上述の加水分解・重縮合液

50

2 g を、直径 5 c m のテフロン（登録商標）シャーレに入れ、防爆炉中、微風下、1 1 0 °C で 1 時間保持し、次いで 1 5 0 °C で 3 時間保持したところ、厚さ約 1 m m の独立した円形透明エラストマー状膜が得られた。これを用いて、製造例 5 - 1 と同様の条件で、固体 S i - N M R スペクトル測定、シラノール含有率の算出、硬度測定、紫外耐光性試験、耐熱試験、およびケイ素含有率の測定を行った。さらに、上記の加水分解・重縮合液を用いて、製造例 5 - 1 と同様の条件で耐リフロー試験および屈折率の測定を行った。その結果は次のとおりである。

【0 8 4 9】

（a）ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト - 4 0 p p m 以上、0 p p m 以下の領域にあり、ピークの半値幅が 0 . 3 p p m 以上、3 . 0 p p m 以下であるピーク：2 本以上。

10

【0 8 5 0】

（b）ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト - 8 0 p p m 以上、- 4 0 p p m 未満の領域にあり、ピークの半値幅が 0 . 3 p p m 以上 5 . 0 p p m 以下であるピーク：2 本以上。

【0 8 5 1】

シラノール含有量（重量％）：0 . 1 0

硬度（ショア A）：3 3

紫外線耐光試験（2 4 時間）：変化無し

耐熱試験（2 0 0 °C）：変化無し

20

耐リフロー試験：剥離脱落なし（剥離率 = 0 %）

ケイ素含有率（重量％）：3 8

屈折率：1 . 4 2

【0 8 5 2】

< 製造例 5 - 3 >

モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズジャパン合同会社製両末端シラノールジメチルシリコンオイル X C 9 6 - 7 2 3 を 7 0 g、両末端シラノールメチルフェニルシリコンオイル Y F 3 8 0 4 を 7 0 g、フェニルトリメトキシシランを 1 4 g、及び、触媒としてジルコニウムテトラアセチルアセトネート粉末を 0 . 3 0 8 g 用意し、これを攪拌翼とコンデンサとを取り付けた三つ口コルベン中に計量し、室温にて 1 5 分触媒が十分溶解するまで攪拌した。この後、反応液を 1 2 0 度まで昇温し、1 2 0 度全還流下で 2 時間攪拌しつつ初期加水分解を行った。それ以降は、製造例 5 - 2 と同じ条件で重合反応および低沸ケイ素成分の留去を行い、無溶剤の加水分解・重縮合液を得た。

30

【0 8 5 3】

光取り出し材料の物性確認のため、製造例 5 - 2 と同じ条件で、得られた加水分解・重縮合液からエラストマー状膜を作製し、このエラストマー状膜および加水分解・重縮合膜を用いて、製造例 5 - 1 と同様に、各種物性の測定および試験を行なった。その結果は次のとおりである。

【0 8 5 4】

（a）ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト - 4 0 p p m 以上、0 p p m 以下の領域にあり、ピークの半値幅が 0 . 3 p p m 以上、3 . 0 p p m 以下であるピーク：2 本以上。

40

【0 8 5 5】

（b）ピークトップの位置がシリコンゴムを基準としてケミカルシフト - 8 0 p p m 以上、- 4 0 p p m 未満の領域にあり、ピークの半値幅が 0 . 3 p p m 以上 5 . 0 p p m 以下であるピーク：2 本以上。

【0 8 5 6】

シラノール含有量（重量％）：0 . 6

硬度（ショア A）：2 0

紫外線耐光試験（2 4 時間）：変化無し

50

耐熱試験（200℃）：変化無し

耐リフロー試験：剥離脱落なし（剥離率＝0％）

ケイ素含有率（重量％）：31

屈折率：1.47

【0857】

<実施例1>

製造例A-1で作製した集積型発光装置を、図7Aに示したマウント部品115上に搭載した。集積型発光装置は、平面サイズが10mm×10mmであり、1mm×1mmの平面サイズの100個の発光ユニットが10×10の2次元マトリックス状に配列されるように作製した。集積型発光装置のサブマウント上での発光ユニット同士の電氣的接続は、1列上に並ぶ10個の発光ユニットを直列接続し、その列同士を並列に接続するように行なった。

10

【0858】

この段階で得られた集積型発光源に200mAの電流を流し、集積型発光源を発光させた。この際の駆動電圧は29.2Vであった。集積型発光源からの発光の全放射束は1321mWであった。

【0859】

さらに、ここまでの段階で得られた集積型発光源に対して、マウント部品上からマイクロピペットで78マイクロリットルの硬化前光取り出し材料を滴下し、集積型発光装置を覆った。硬化前光取り出し材料としては、製造例5-1で得た加水分解・重縮合液を用いた。加水分解・重縮合液は、集積型発光装置内および発光装置間の隙間を充填し、さらに第1の光取り出し方向側の面もぬれた状態で覆った。これを乾燥させることにより、加水分解・重縮合液が硬化し、クラックの無い透明なエラストマー上の光取り出し材料が集積型発光装置に付着した、図7Aに示すような集積型発光源が得られた。

20

【0860】

得られた集積型発光源に200mAの電流を流し、集積型発光源を発光させた。この際の駆動電圧は29.6Vであった。集積型発光源から発光の全放射束は1889mWとなり、光取り出し材料を発光素子に付着させる前と比較して全放射束が約43%向上した。このことから、発光素子に光取り出し材料を付着させることにより光取り出し効率が向上することがわかる。また、集積型発光源からの発光は均一であった。

30

【0861】

<実施例2>

製造例5-3で得た加水分解・重縮合液を硬化前光取り出し材料として使用した以外は実施例1と同様にして集積型発光源を作製した。加水分解・重縮合液の乾燥により、加水分解・重縮合液が硬化し、クラックの無い透明なエラストマー状の光取り出し材料が集積型発光装置に付着した集積型発光源が得られた。

【0862】

得られた集積型発光源に200mAの電流を流し、集積型発光源を発光させた。この際の駆動電圧は29.6Vであった。集積型発光源からの発光の全放射束は2008mWとなり、実施例1において光取り出し材料を発光素子に付着させる前と比較して全放射束が約52%向上した。このことから、屈折率の高い光取り出し材料を用いることにより、光取り出し効率がさらに向上することがわかる。また、集積型発光源からの発光は均一であった。

40

【図面の簡単な説明】

【0863】

【図1-1】本発明の発光源に用いることのできるタイプAの形態の発光装置の1例を示す図である。

【図1-2】タイプAの形態の発光装置の1例の完成前の構造を示す図である。

【図1-3】タイプAの形態の発光装置の1例を示す図である。

【図1-4】タイプAの形態の発光装置の1例の完成前の構造を示す図である。

50

- 【図 1－5】活性層構造を模式的に示す図である。
- 【図 1－6】タイプ A の形態の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－7】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－8】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－9】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－10】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－11】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－12】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－13】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－14】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 1－15】製造例 A－1 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 1－16】製造例 A－3 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 1－17】タイプ A の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 1－18】タイプ A の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 1－19】タイプ A の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 1－20】タイプ A の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 1－21】タイプ A の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－1】タイプ B の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 2－2】タイプ B の形態の発光装置の 1 例の完成前の構造を示す図である。
- 【図 2－3】タイプ B の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 2－4】タイプ B の形態の発光装置の 1 例の完成前の構造を示す図である。
- 【図 2－6】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－7】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－8】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－9】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－10】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－11】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－12】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－13】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－14】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 2－15】製造例 B－1 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 2－16】製造例 B－3 で製造した発光装置を示す図である。

- 【図 2-17】タイプ B の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 2-18】タイプ B の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 2-19】タイプ B の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 2-20】タイプ B の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 2-21】タイプ B の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-1】タイプ C の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 3-2】タイプ C の形態の発光装置の 1 例の完成前の構造を示す図である。
- 【図 3-4】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-5】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-6】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-7】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-8】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-9】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-10】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 3-11】製造例 C-1 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 3-12】製造例 C-3 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 3-13】タイプ C の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 3-14】タイプ C の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 3-15】タイプ C の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 3-16】タイプ C の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 3-17】タイプ C の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-1】タイプ D の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 4-2】タイプ D の形態の発光装置の 1 例の完成前の構造を示す図である。
- 【図 4-4】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-5】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-6】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-7】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-8】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-9】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-10】タイプ D の形態の発光装置の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。
- 【図 4-11】製造例 D-1 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 4-12】製造例 D-3 で製造した発光装置を示す図である。
- 【図 4-13】タイプ D の形態の発光装置の 1 例を示す図である。
- 【図 4-14】タイプ D の形態の発光装置の 1 例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図４－１５】タイプＤの形態の発光装置の１例を示す図である。

【図４－１６】タイプＤの形態の発光装置の１例を示す図である。

【図４－１７】タイプＤの形態の発光装置の製造方法の１実施形態を説明する工程断面図である。

【図５－１】本発明の集積型発光源における、光取り出し材料の付着の１形態を示す図である。

【図５－２】本発明の集積型発光源における、光取り出し材料の付着の１形態を示す図である。

【図６】本発明の集積型発光源における、光取り出し材料の付着の１形態を示す図である。

【図７】本発明の集積型発光源における、光取り出し材料の付着の１形態を示す図である。

【図７Ａ】集積型発光源の１例を示す図である。

【図８】集積型発光源の製造方法の１例を示す図である。

【図９】集積型発光源の製造方法の１例を示す図である。

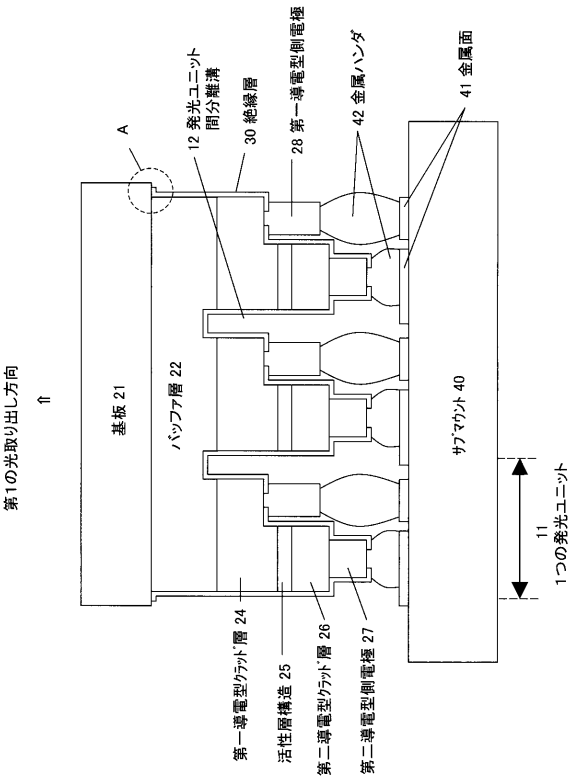
【符号の説明】

【０８６４】

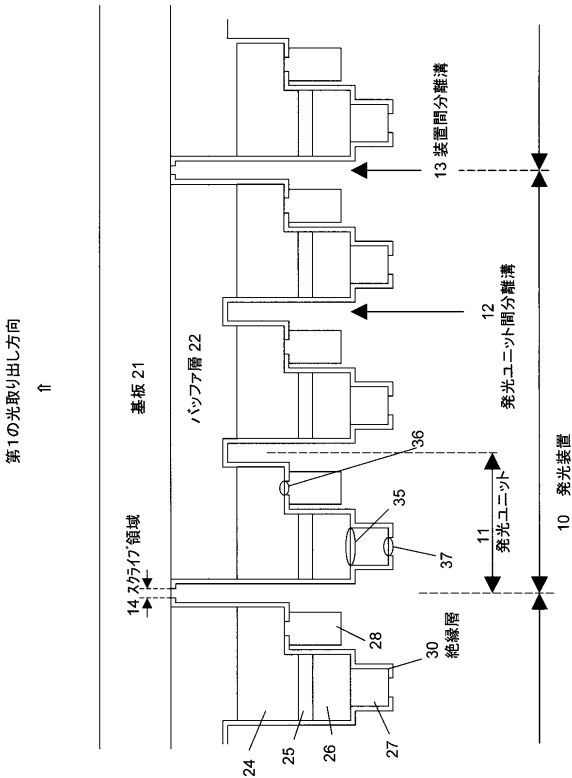
１０	発光装置	
１１	発光ユニット	
１２	発光ユニット間分離溝	20
１３	装置間分離溝	
１４	スクライプ領域	
１５	絶縁層非形成部分	
１７	発光ポイント	
２１	基板	
２２	バッファ層	
２２ a	第１のバッファ層	
２２ b	第２のバッファ層	
２４	第一導電型クラッド層	
２４ a	第一導電型第一クラッド層	30
２４ b	第一導電型第二クラッド層	
２４ c	第一導電型（n型）コンタクト層	
２５	活性層構造	
２６	第二導電型クラッド層	
２６ a	第二導電型第一クラッド層	
２６ b	第二導電型第二クラッド層	
２６ c	第二導電型（p型）コンタクト層	
２７	第二導電型電極	
２８	第一導電型電極	
３０	絶縁層	40
３５	第二電流注入領域	
３６	第一電流注入領域	
３７	第二導電型側電極露出部分	
４０	サブマウントまたは支持体	
４１	金属面	
４２	金属ハンダ	
４５	低反射光学膜	
５１	第一エッチングマスク（SiN _x 等）	
５２	第二および／または第三エッチングマスク（金属フッ化物マスク）	
９０	空隙	50

- 1 1 0 光取り出し材料
- 1 1 5 マウント部品
- 1 2 0 液止め
- 1 2 1 ポッティング容器
- 2 0 0 集積型発光源

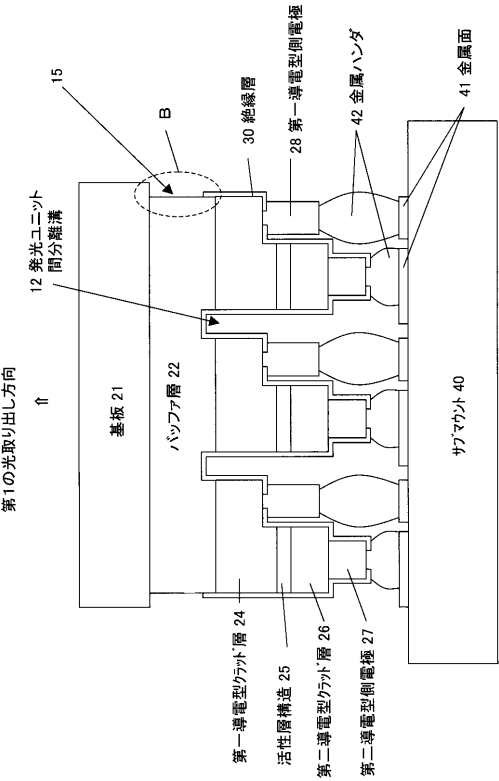
【図 1 - 1】



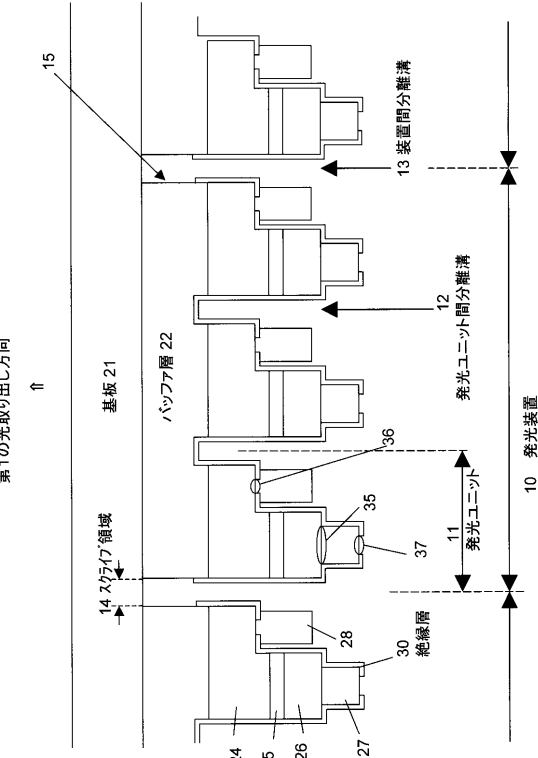
【図 1 - 2】



【図 1 - 3】



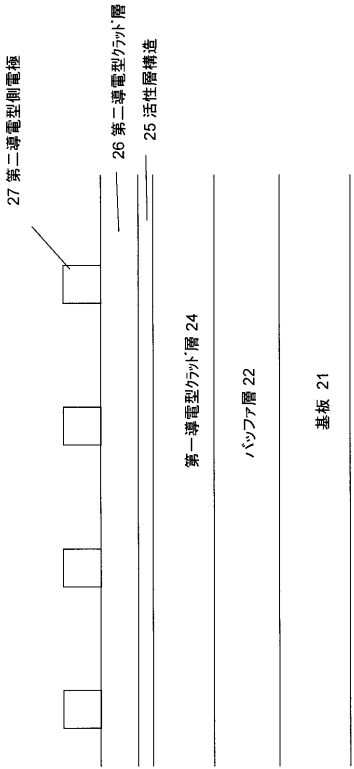
【図 1 - 4】



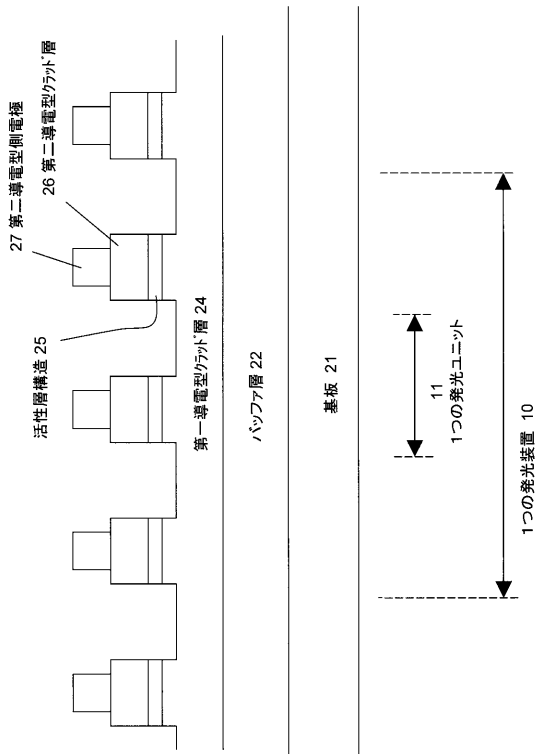
【図 1 - 5】

バリア層
量子井戸層
バリア層
量子井戸層
バリア層
量子井戸層
バリア層
量子井戸層
バリア層
量子井戸層
バリア層

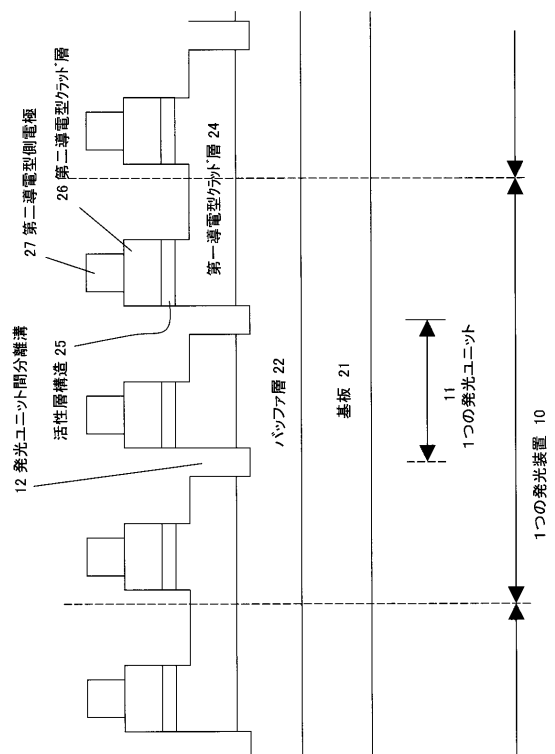
【図 1 - 6】



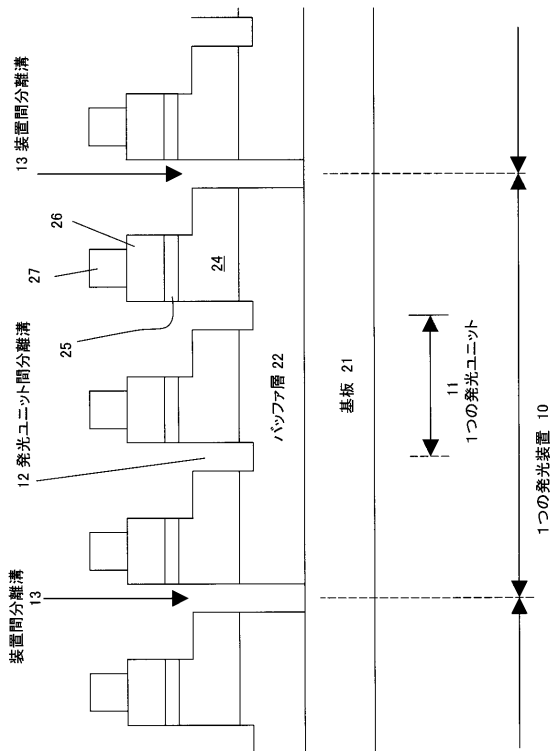
【図 1 - 7】



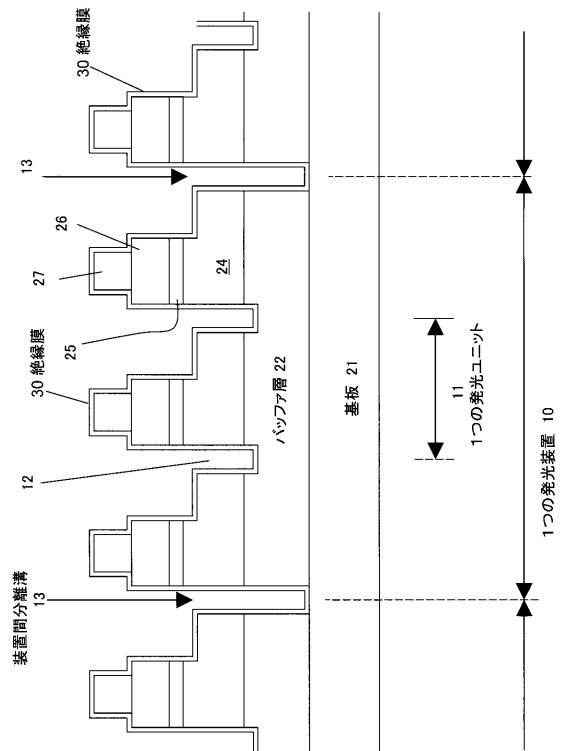
【図 1 - 8】



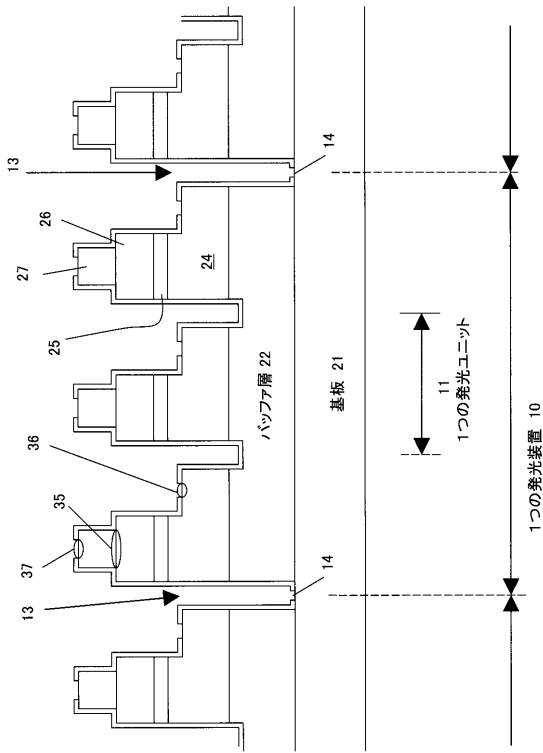
【図 1 - 9】



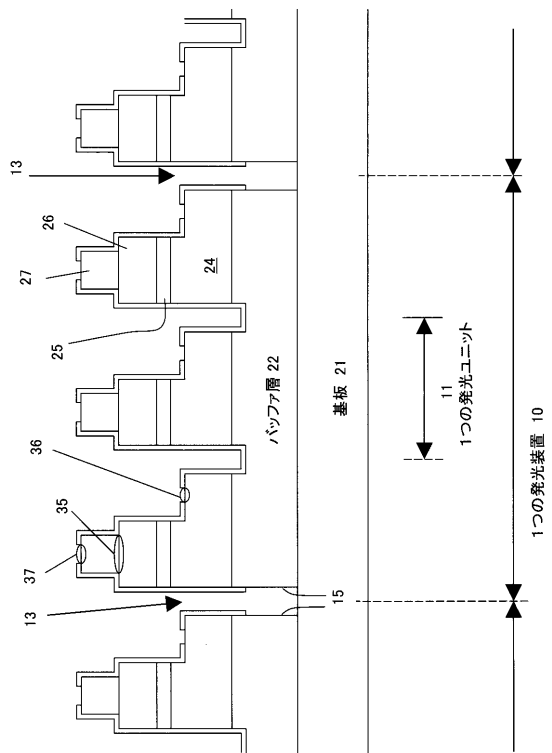
【図 1 - 10】



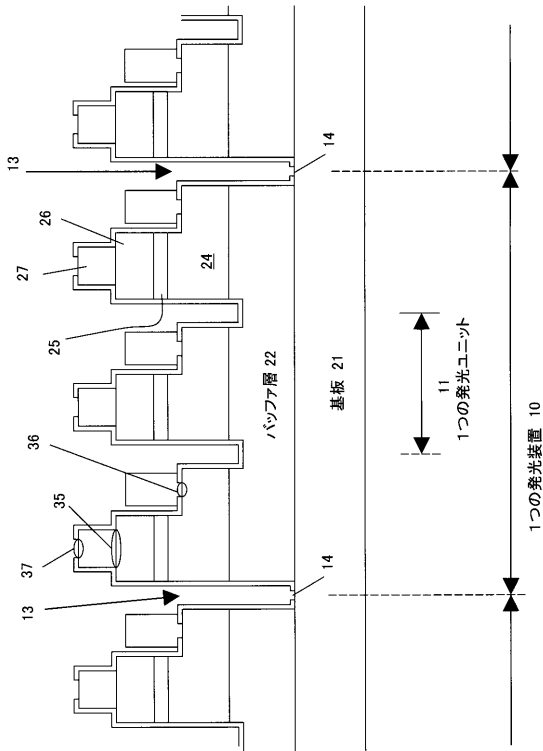
【図 1 - 1 1】



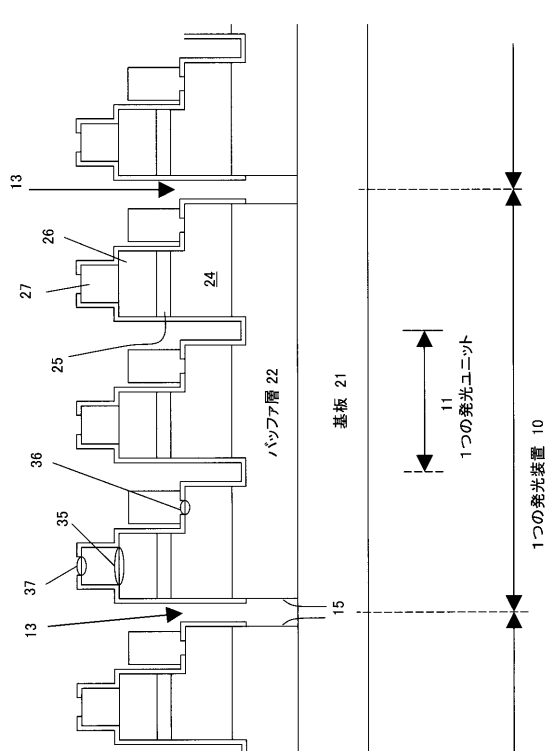
【図 1 - 1 2】



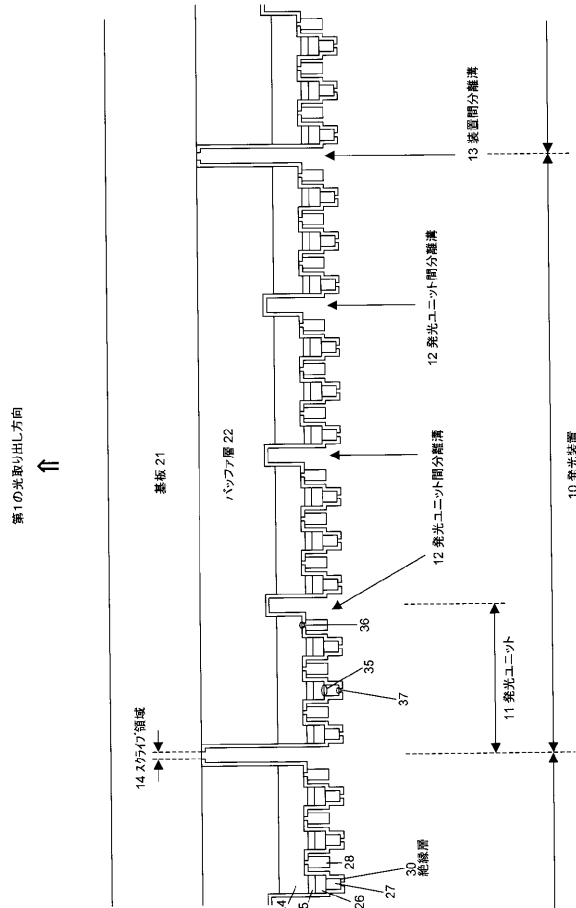
【図 1 - 1 3】



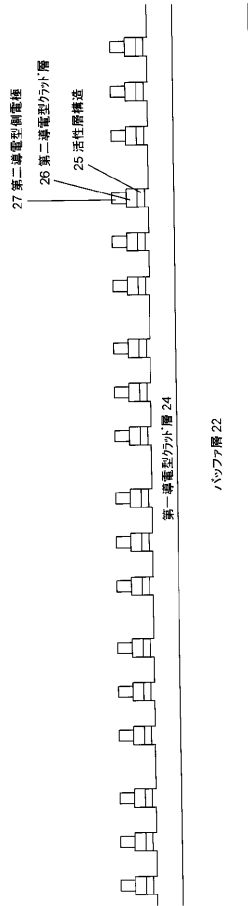
【図 1 - 1 4】



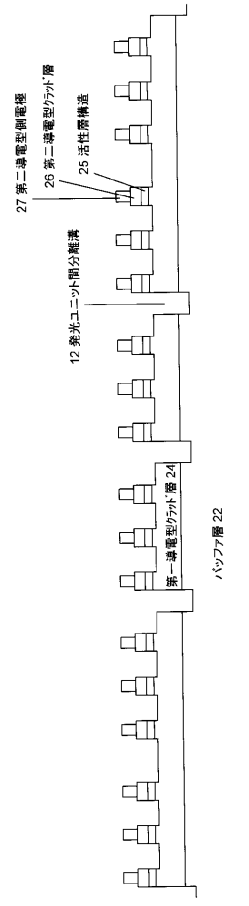
【図 2-2】



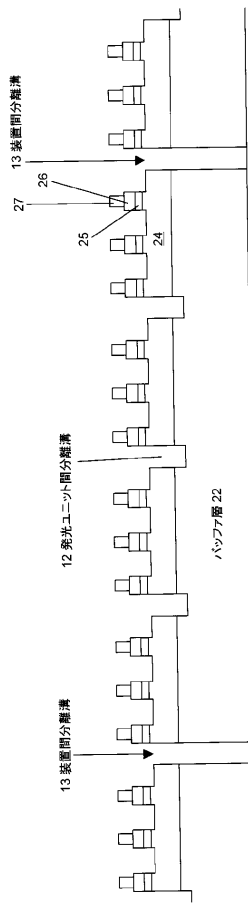
【図 2 - 7】



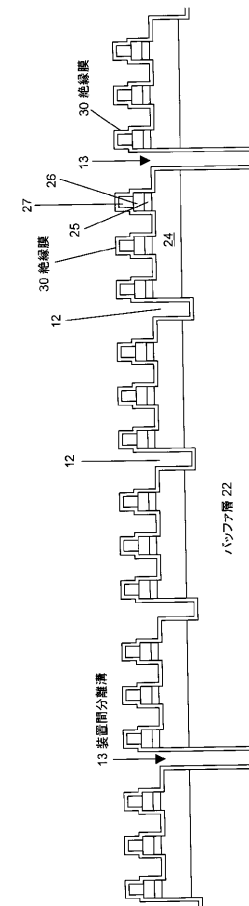
【図 2 - 8】



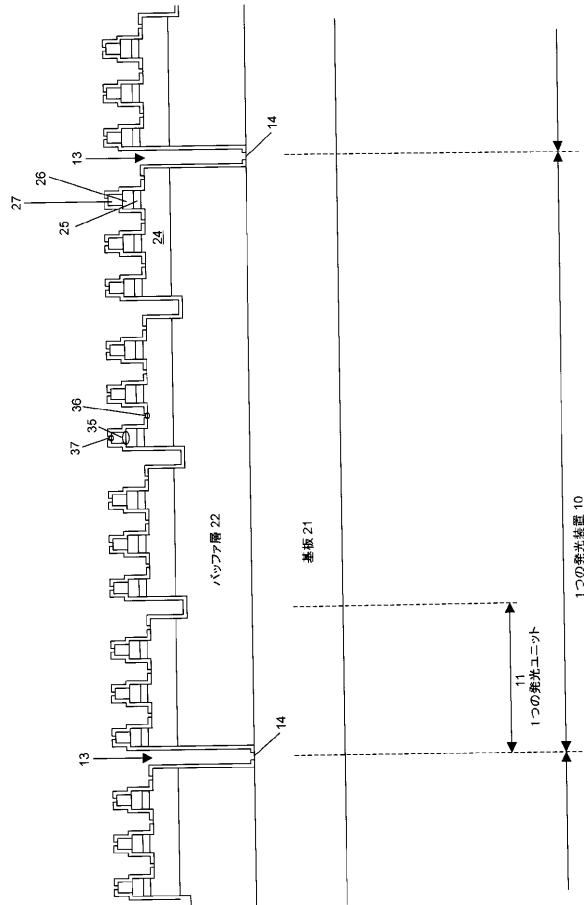
【図 2 - 9】



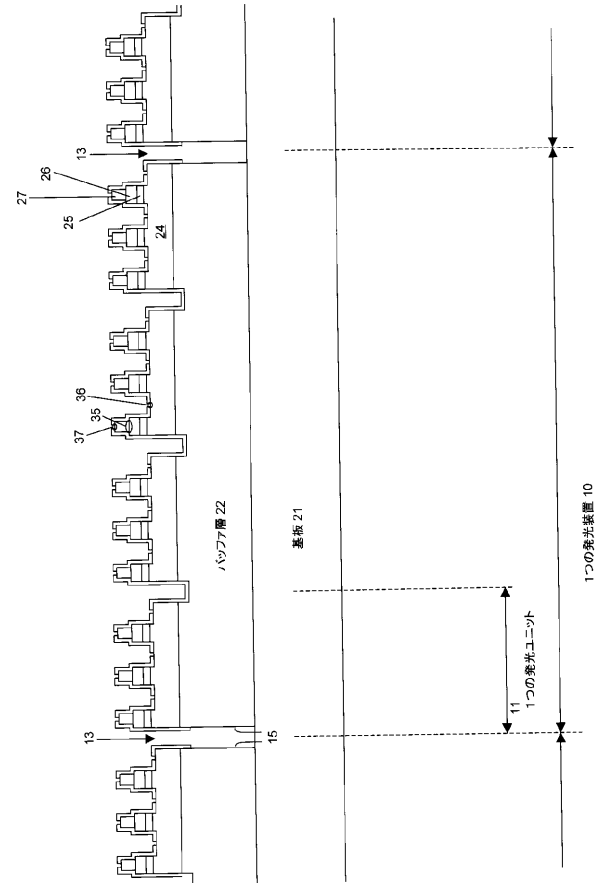
【図 2 - 10】



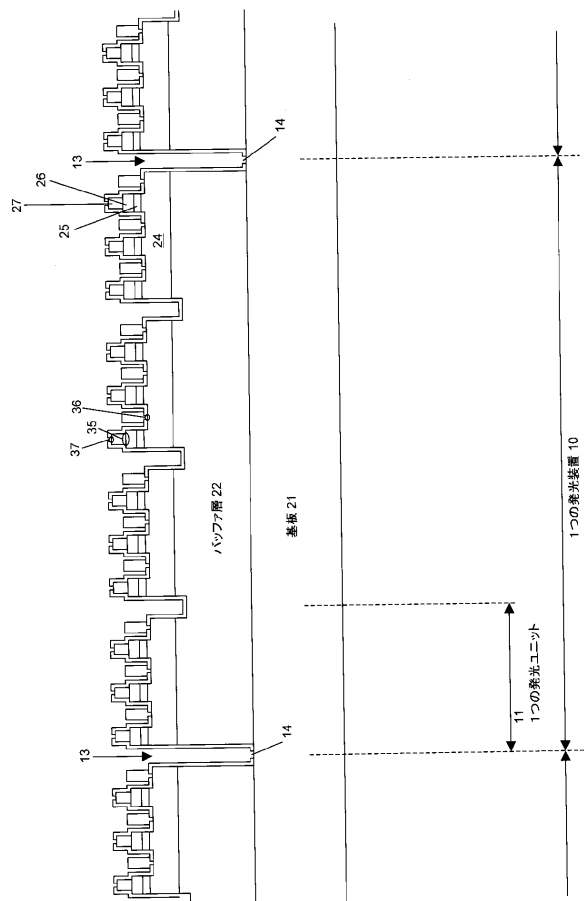
【図 2 - 1 1】



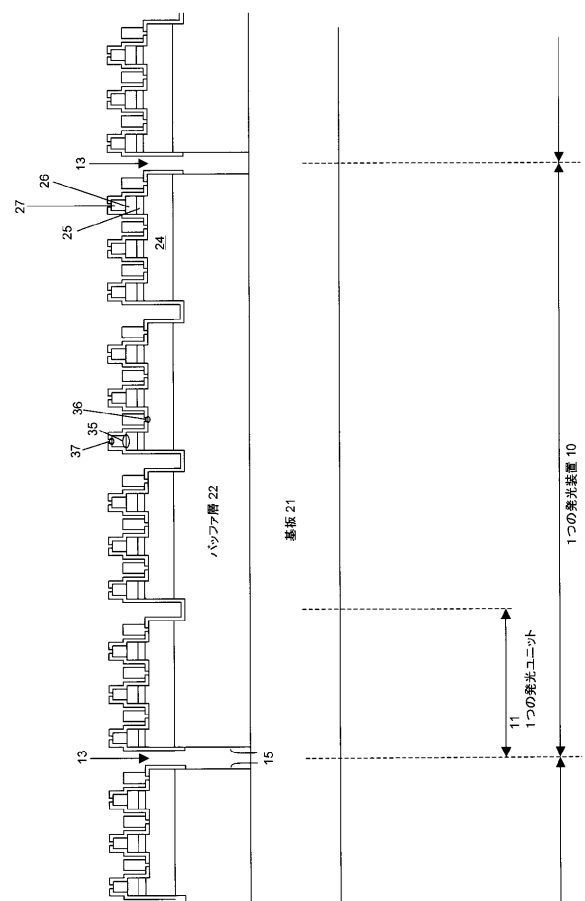
【図 2 - 1 2】



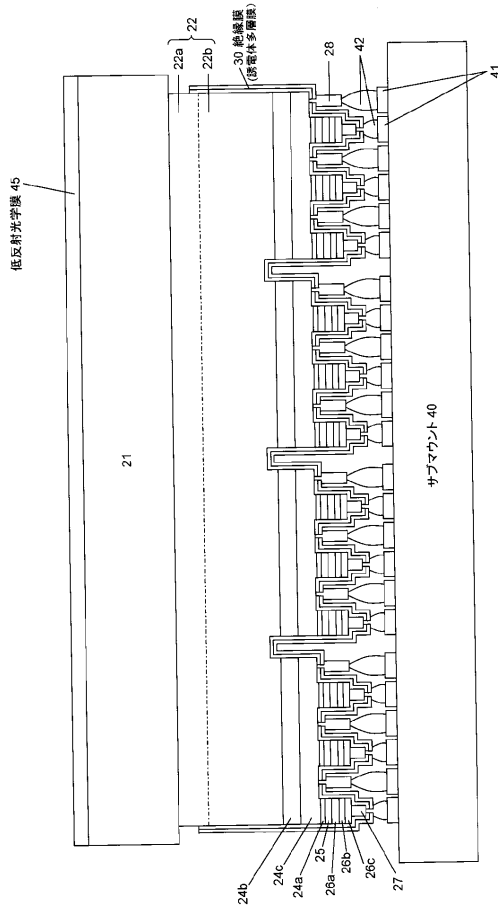
【図 2 - 1 3】



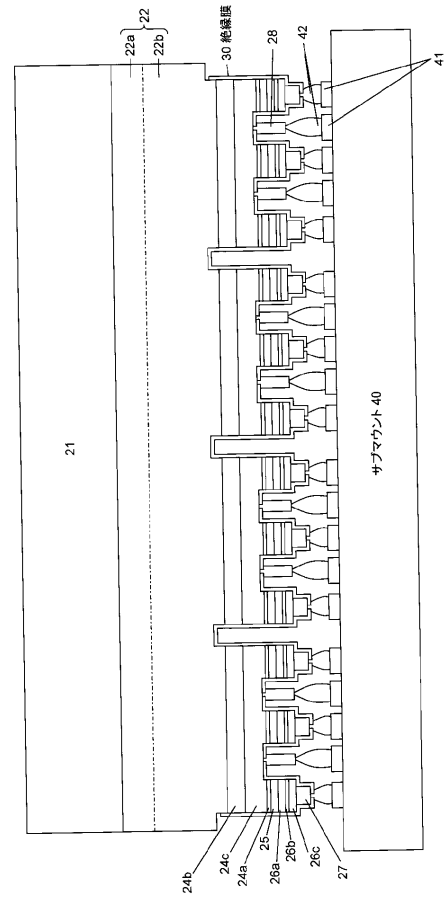
【図 2 - 1 4】



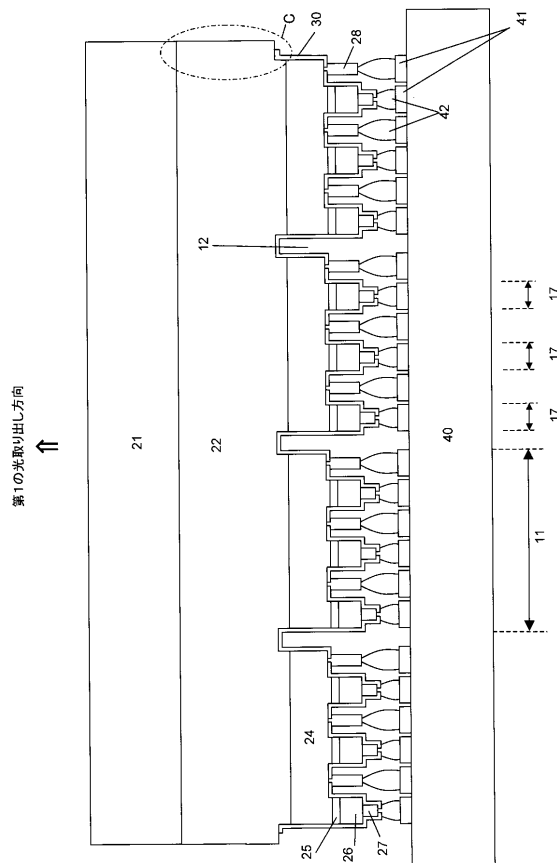
【図 2 - 1 5】



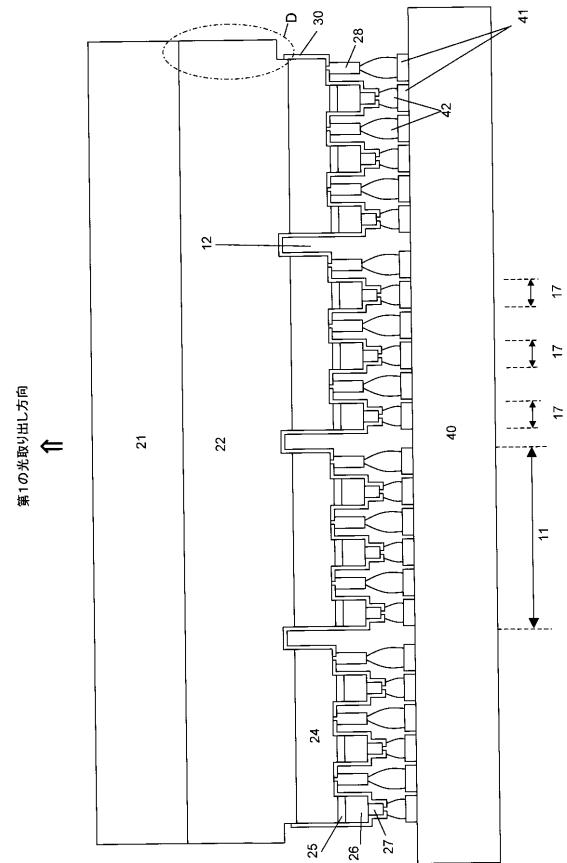
【図 2 - 1 6】



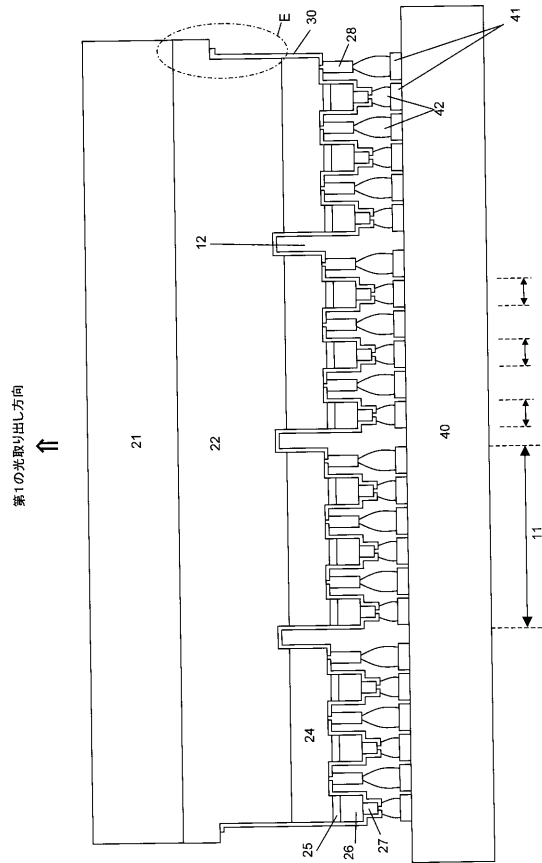
【図 2 - 1 7】



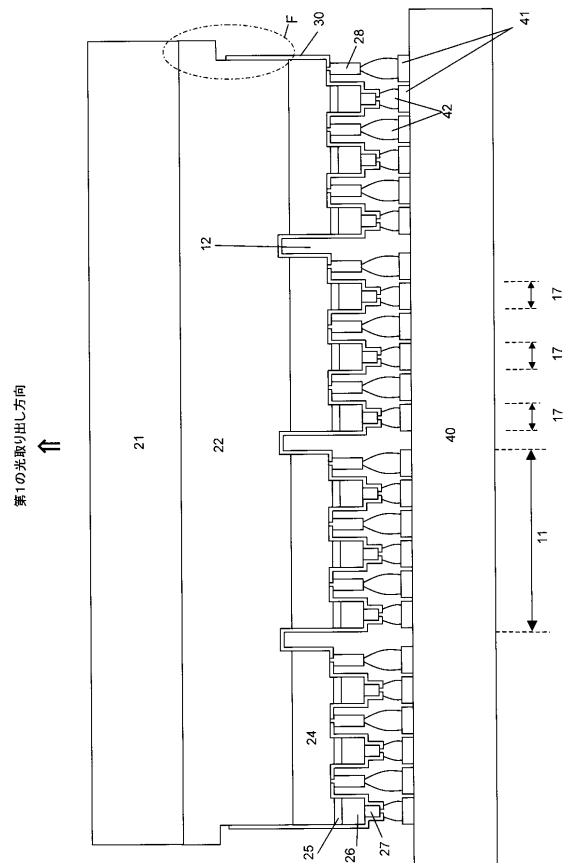
【図 2 - 1 8】



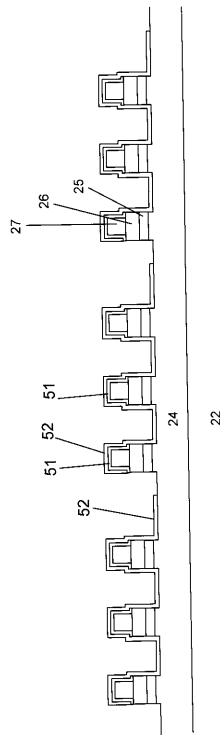
【図 2 - 1 9】



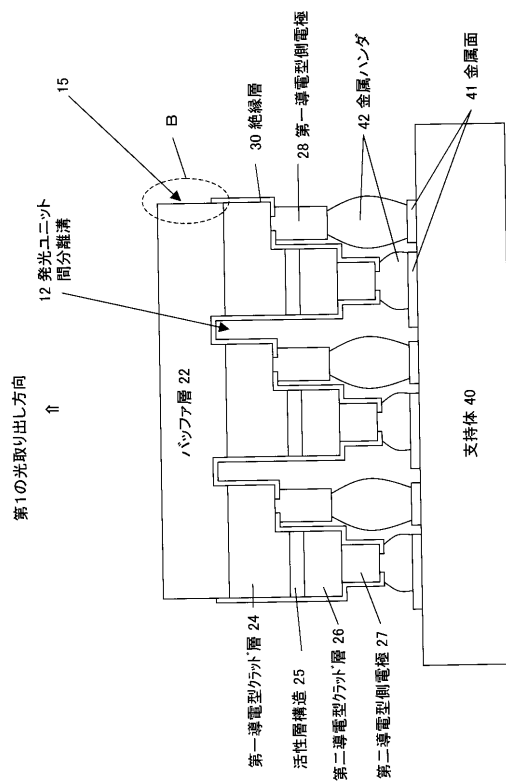
【図 2 - 2 0】



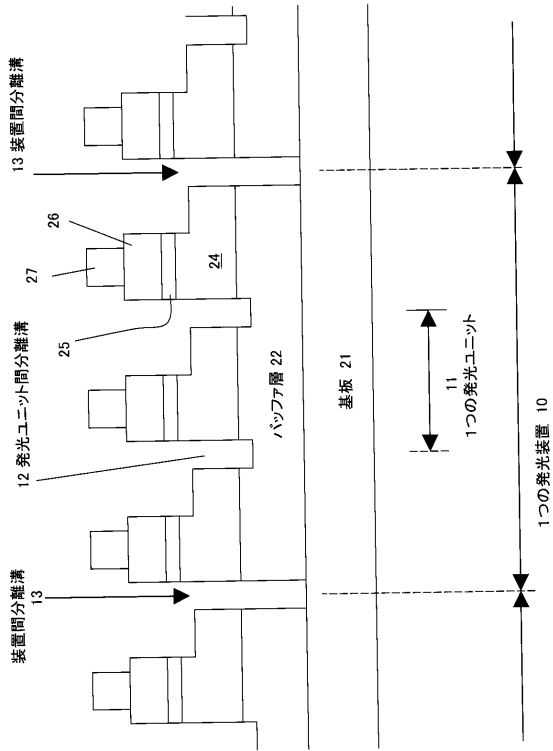
【図 2 - 2 1】



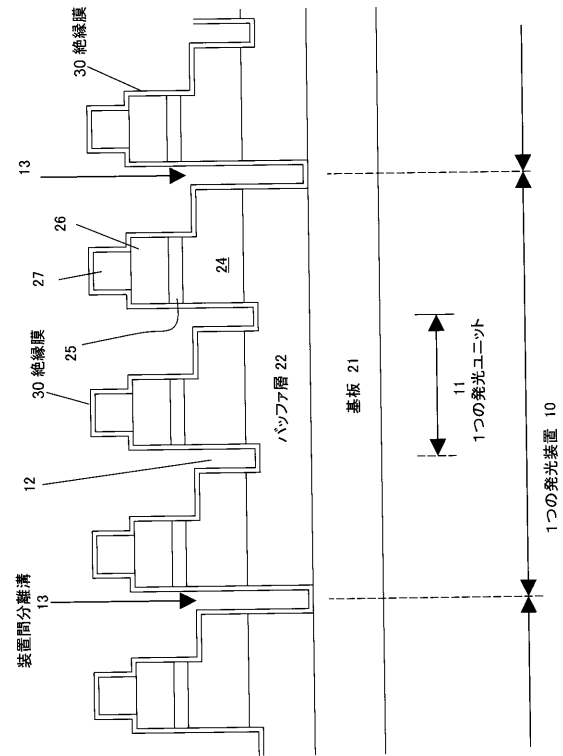
【図 3 - 1】



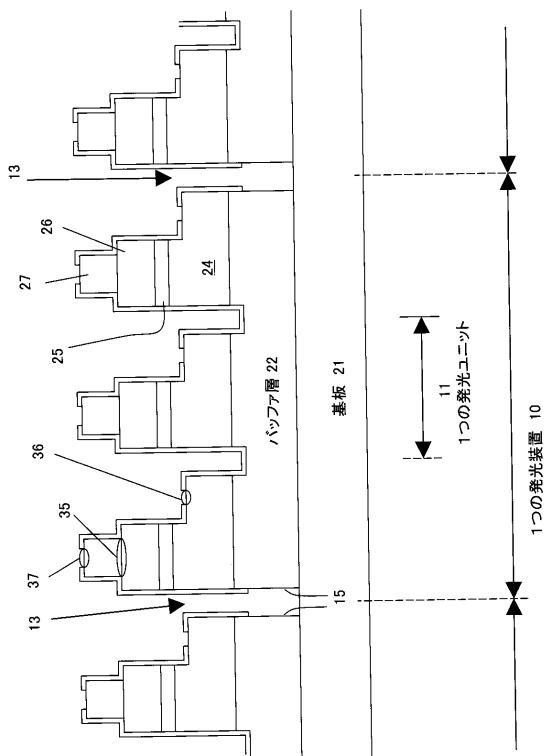
【図 3 - 7】



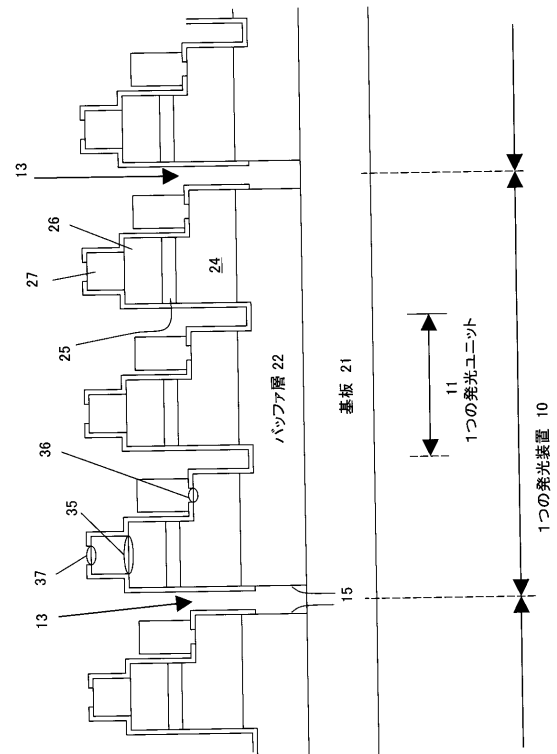
【図 3 - 8】



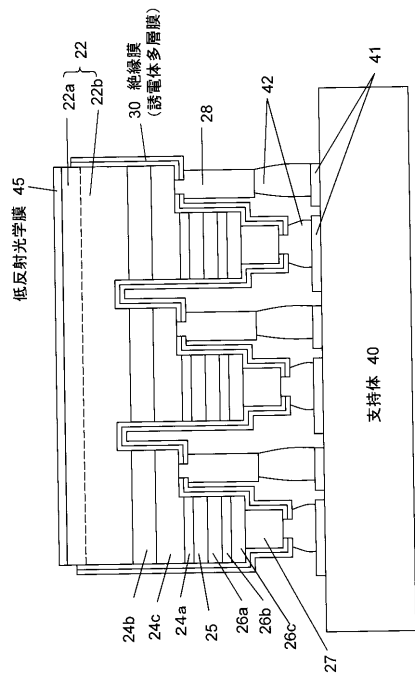
【図 3 - 9】



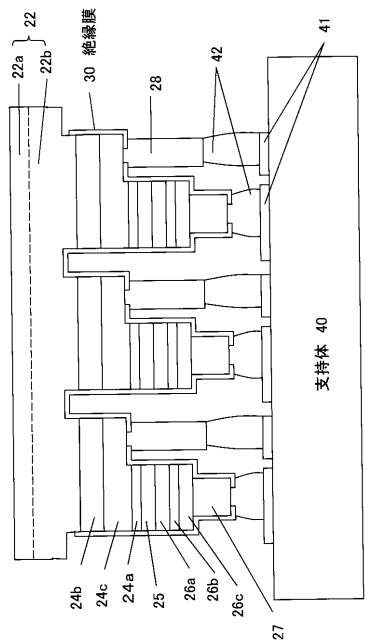
【図 3 - 10】



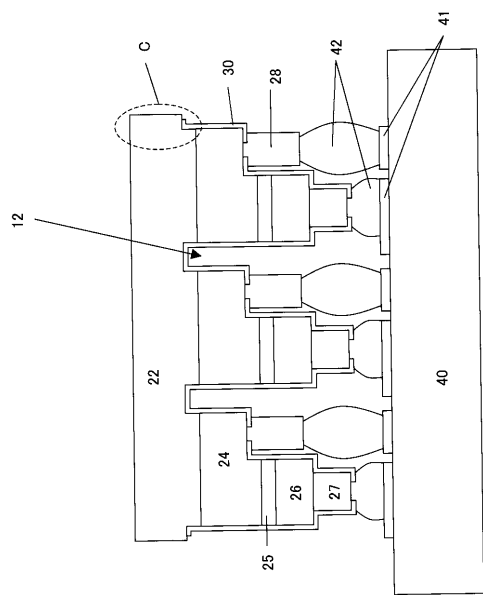
【図 3 - 1 1】



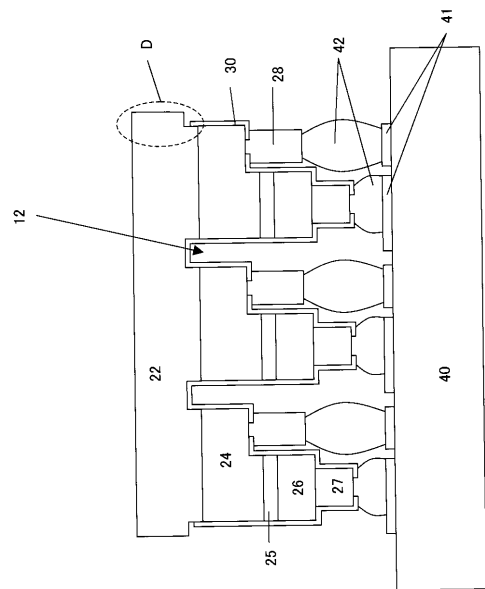
【図 3 - 1 2】



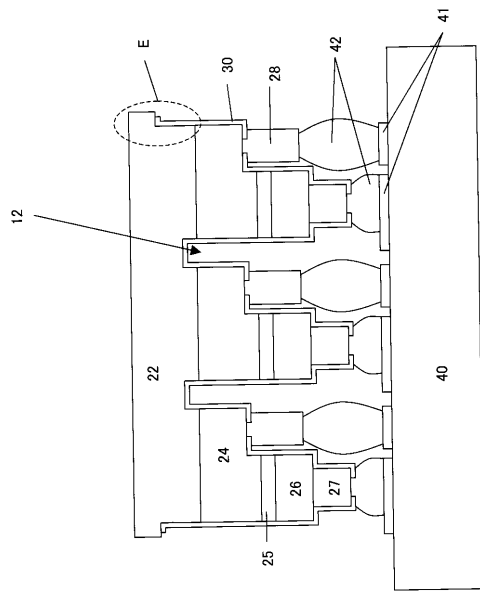
【図 3 - 1 3】



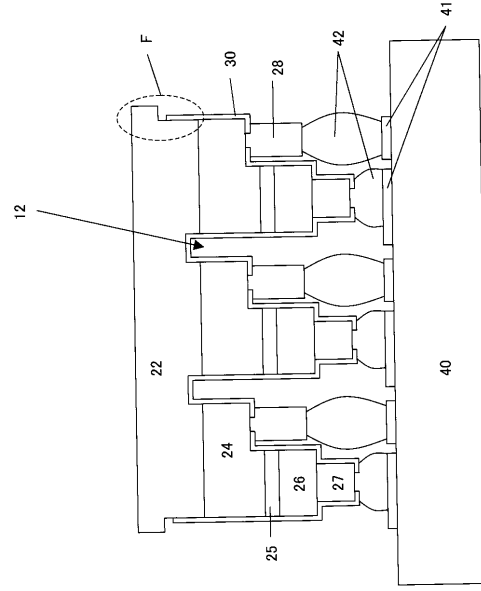
【図 3 - 1 4】



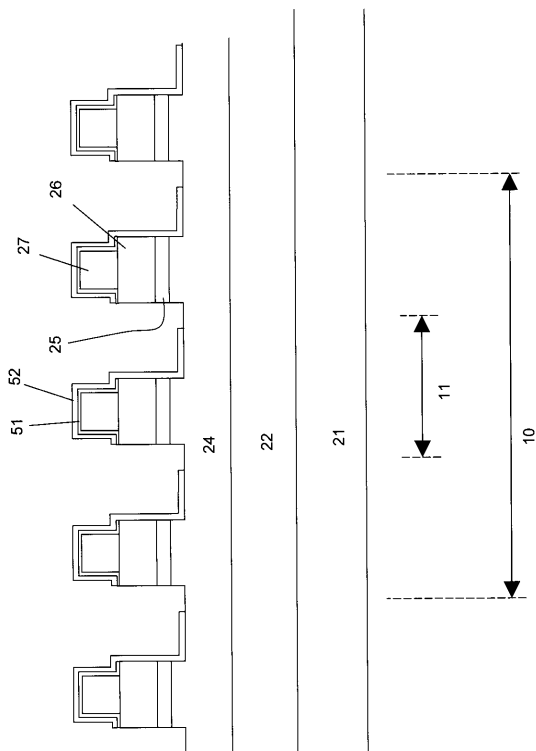
【図 3 - 1 5】



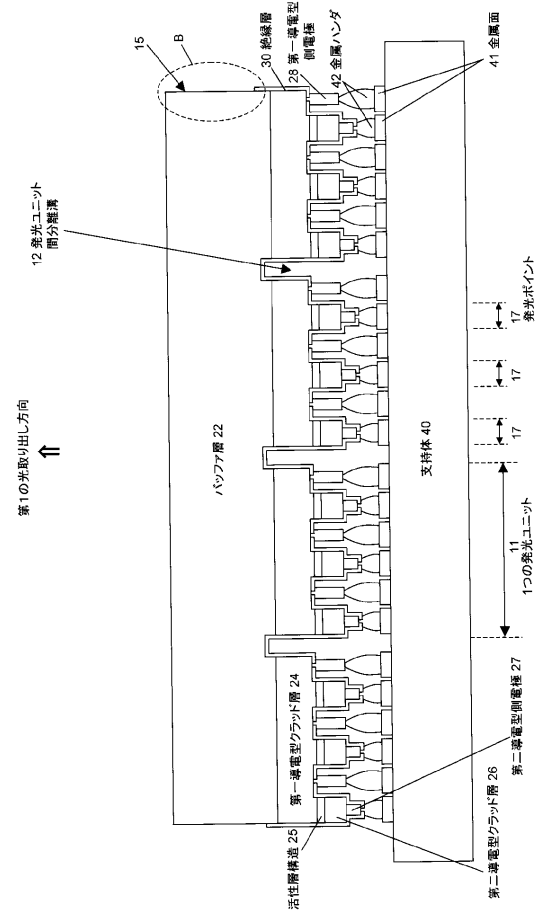
【図 3 - 1 6】



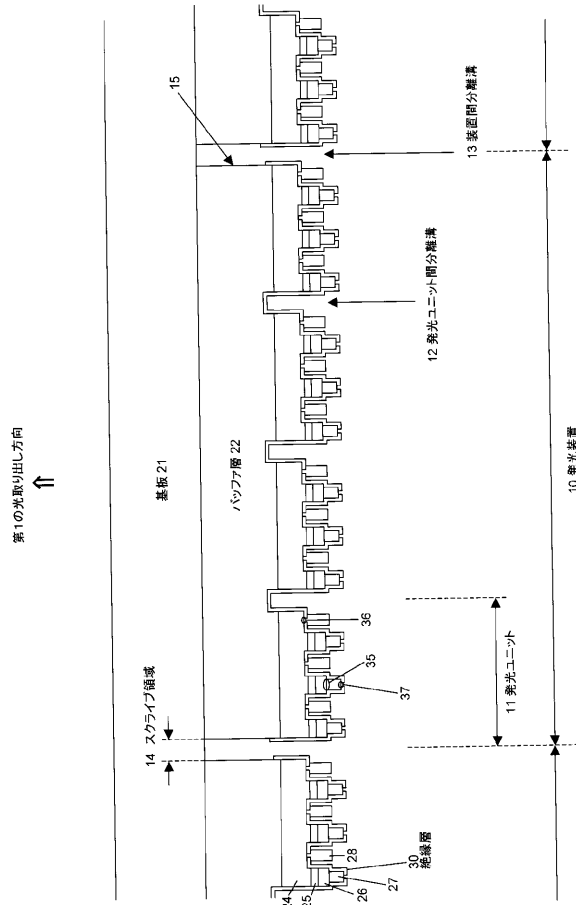
【図 3 - 1 7】



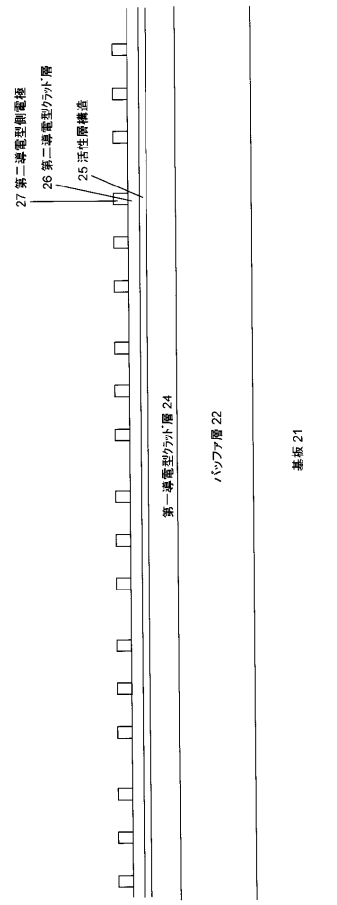
【図 4 - 1】



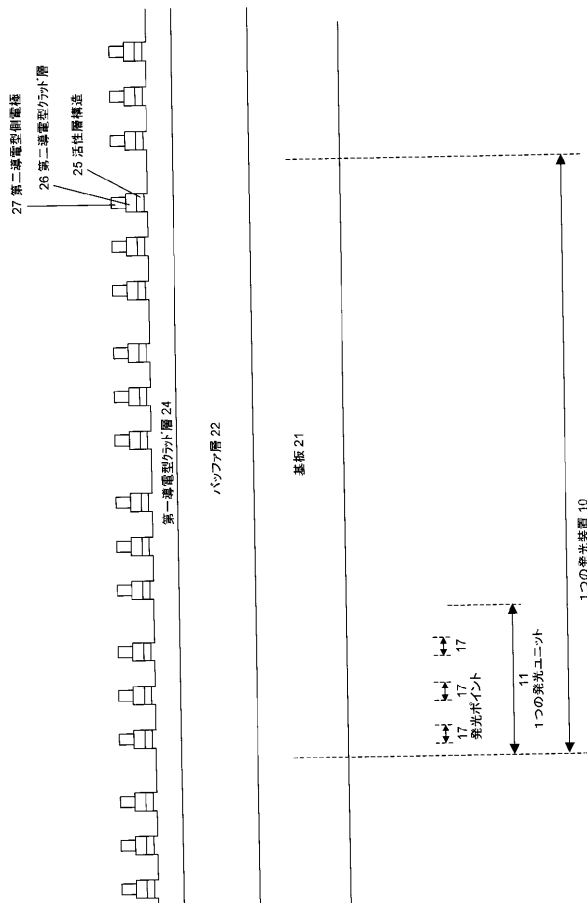
【図 4 - 2】



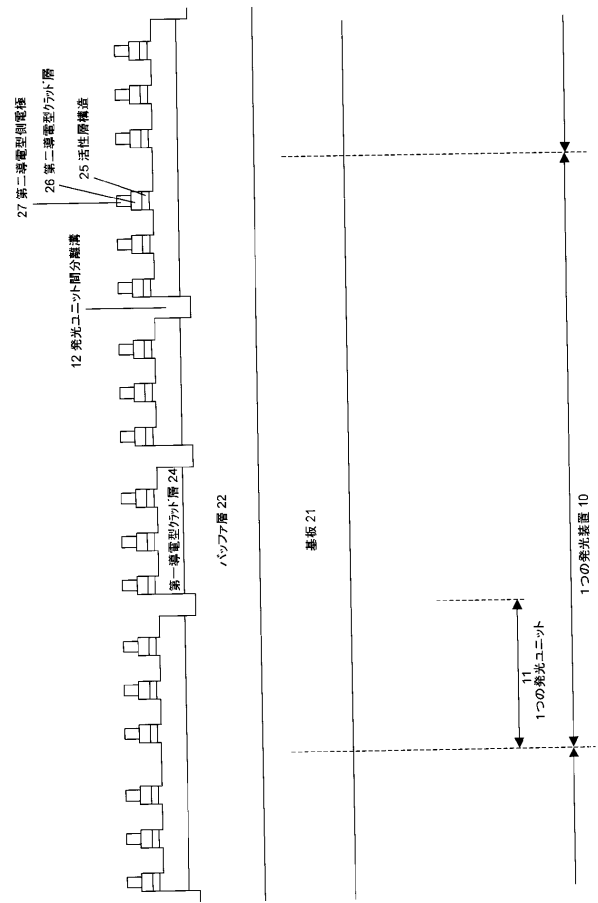
【図 4 - 4】



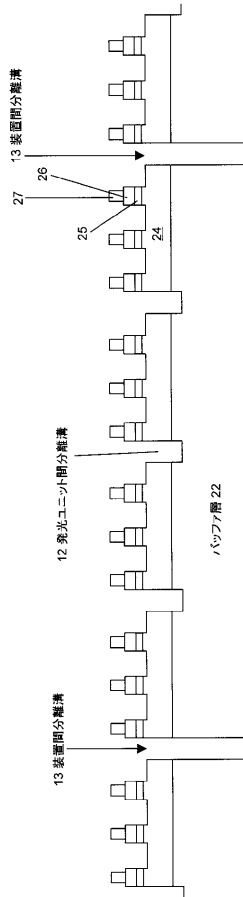
【図 4 - 5】



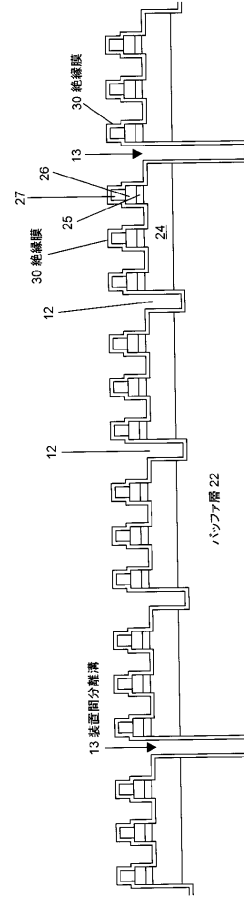
【図 4 - 6】



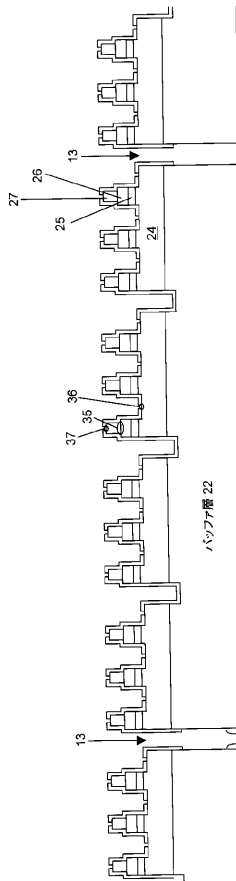
【図 4 - 7】



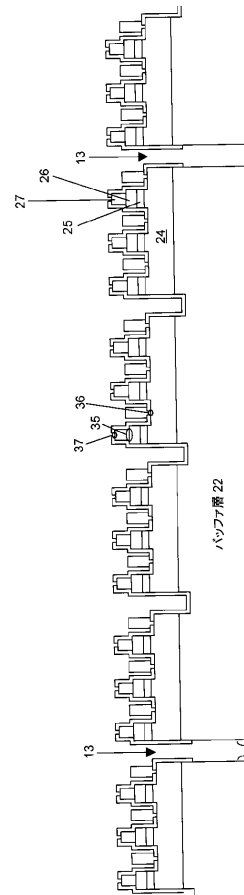
【図 4 - 8】



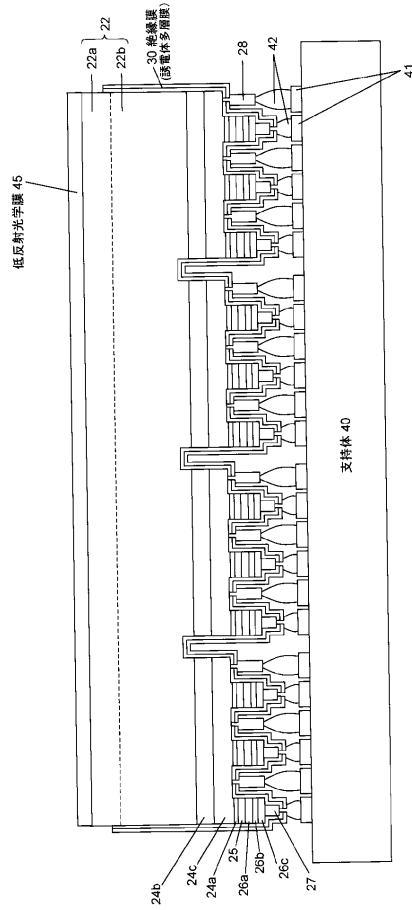
【図 4 - 9】



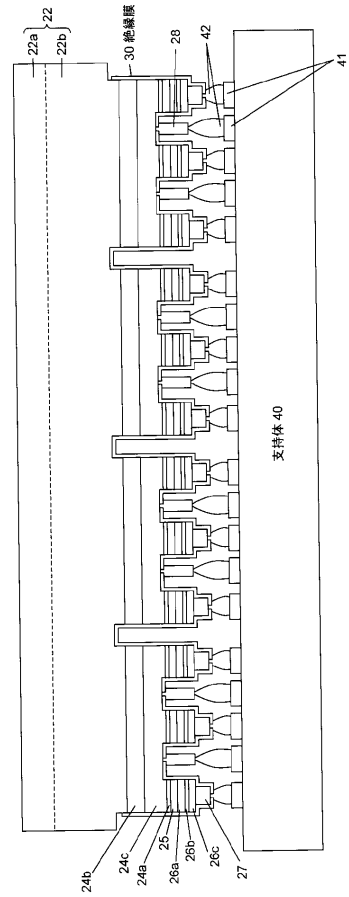
【図 4 - 10】



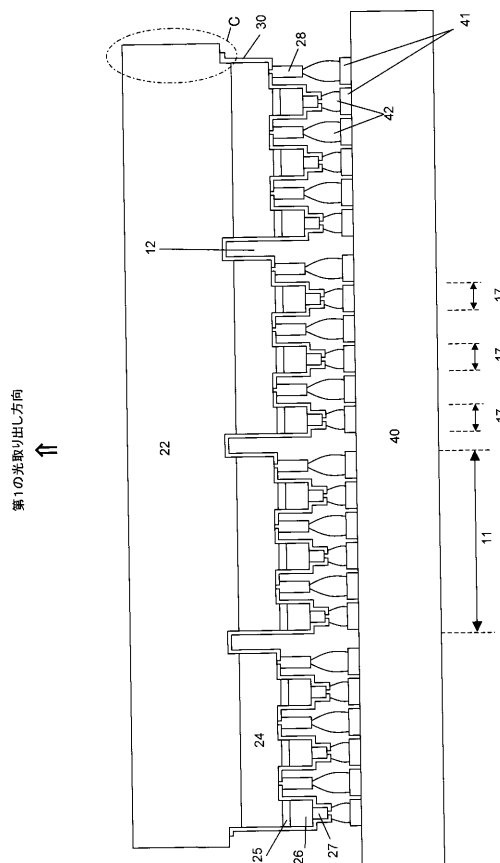
【図 4 - 1 1】



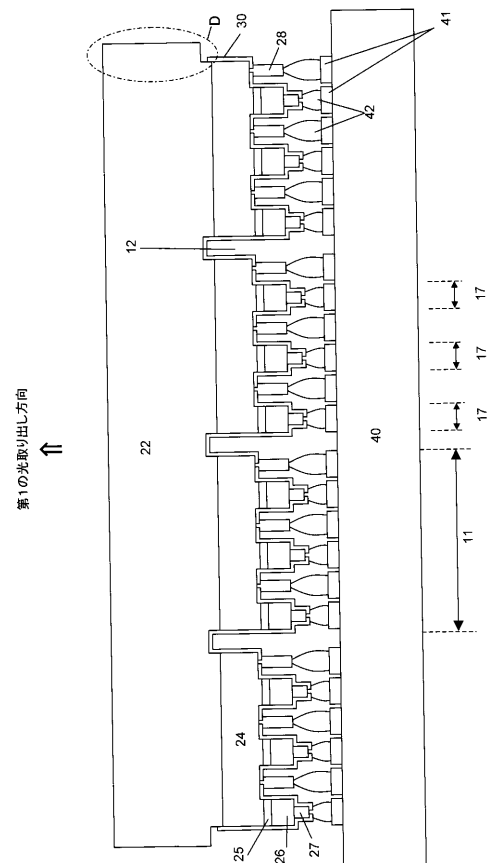
【図 4 - 1 2】



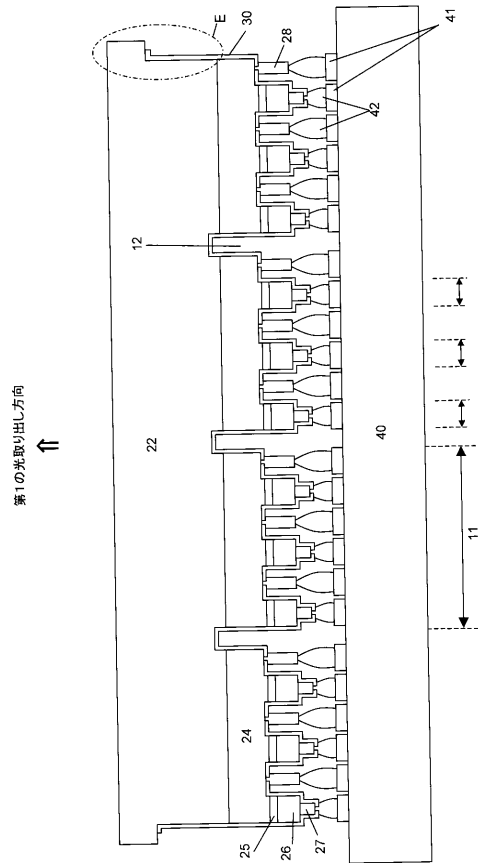
【図 4 - 1 3】



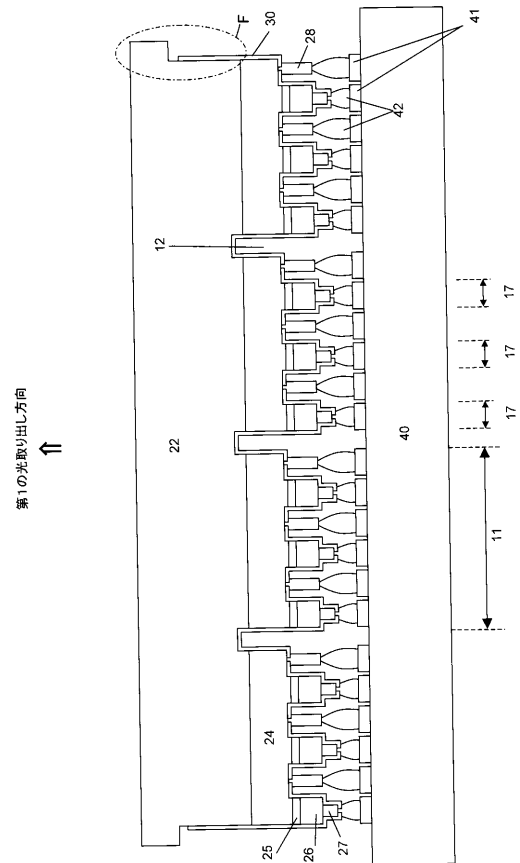
【図 4 - 1 4】



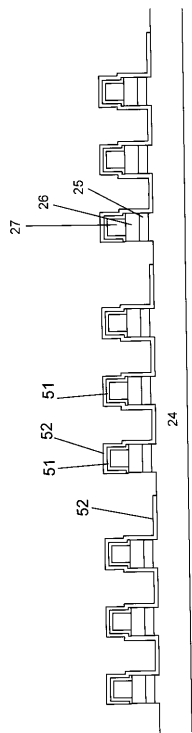
【図 4 - 1 5】



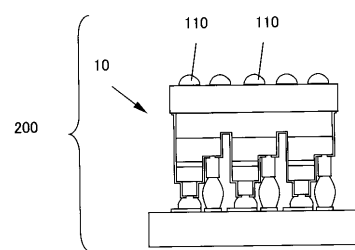
【図 4 - 1 6】



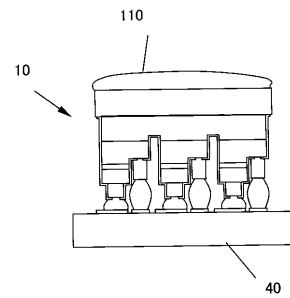
【図 4 - 1 7】



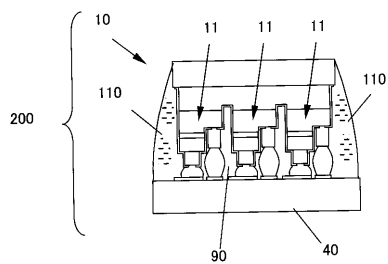
【図 5 - 1】



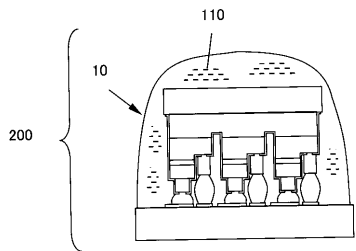
【図 5 - 2】



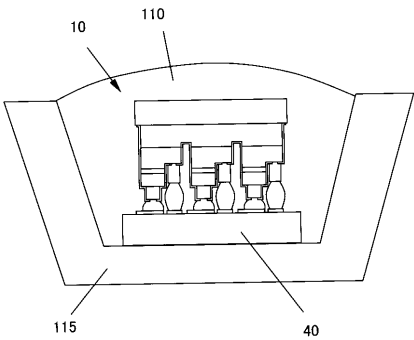
【図 6】



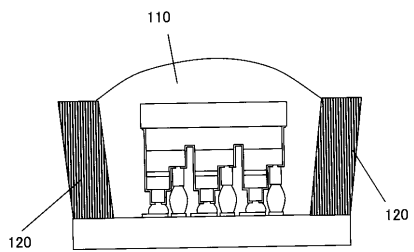
【図 7】



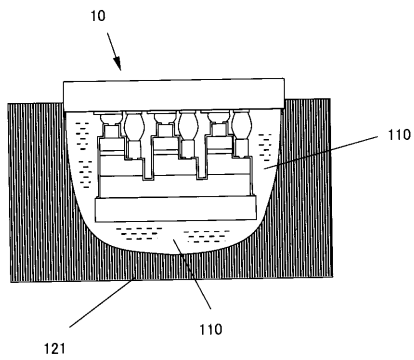
【図 7 A】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA04 CA05 CA13 CA40 CA65 CA74 CA83 CB11 CB25
DA09 DA12 DA19 DA34 DA74 FF11