

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7281976号  
(P7281976)

(45)発行日 令和5年5月26日(2023.5.26)

(24)登録日 令和5年5月18日(2023.5.18)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 1 L 33/06 (2010.01) H 0 1 L 33/06  
H 0 1 L 33/32 (2010.01) H 0 1 L 33/32

請求項の数 19 (全33頁)

(21)出願番号	特願2019-115716(P2019-115716)	(73)特許権者	000116024 ローム株式会社 京都府京都市右京区西院溝崎町2 1 番地
(22)出願日	令和1年6月21日(2019.6.21)	(74)代理人	110002310 弁理士法人あい特許事務所
(65)公開番号	特開2021-2595(P2021-2595A)	(72)発明者	堤 一陽 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ロー ム株式会社内
(43)公開日	令和3年1月7日(2021.1.7)	(72)発明者	小淵 啓誉 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ロー ム株式会社内
審査請求日	令和4年5月16日(2022.5.16)	(72)発明者	中西 康夫 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ロー ム株式会社内
		(72)発明者	藤盛 敬雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体発光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1導電型の第1半導体層と、

$I_n$ 組成比 $X$  ( $0 < X < 1$ )を有する $I_n X G a_{(1-X)} N$ を含む第1井戸層、および、第1導電型不純物が添加された $G a N$ を含む第1障壁層が交互に積層され、対を成す前記第1井戸層および前記第1障壁層が第1総厚さを有する積層構造を有し、前記第1半導体層の上に形成された第1MQW構造と、

前記 $I_n$ 組成比 $X$ を超える $I_n$ 組成比 $Y$  ( $X < Y < 1$ )を有する $I_n Y G a_{(1-Y)} N$ を含む第2井戸層、および、不純物無添加の $G a N$ を含む第2障壁層が交互に積層され、対を成す前記第2井戸層および前記第2障壁層が前記第1総厚さ未満の第2総厚さを有する積層構造を有し、前記第1MQW構造の上に形成された第2MQW構造と、

前記第2MQW構造の上に形成された第2導電型の第2半導体層と、  
前記 $I_n$ 組成比 $X$ を超える $I_n$ 組成比 $Z$  ( $X < Z < 1$ )を有する $I_n Z G a_{(1-Z)} N$ を含むバッファ井戸層、および、第1導電型不純物が添加された $G a N$ を含むバッファ障壁層を含み、対を成す前記バッファ井戸層および前記バッファ障壁層が前記第2総厚さを超える第3総厚さを有する積層構造を有し、前記第1MQW構造および前記第2MQW構造の間の領域に介在するバッファMQW構造と、を含み、

前記第1MQW構造は、前記第1半導体層から離れる方向に前記 $I_n$ 組成比 $X$ が漸増するように積層された複数の前記第1井戸層を含み、

前記第2MQW構造は、前記 $I_n$ 組成比 $Y$ が一定となるように積層された複数の前記第2

井戸層を含み、

積層方向に隣り合う前記第 1 井戸層および前記バッファ井戸層の間において、前記 I n 組成比 X および前記 I n 組成比 Z の間の増加割合は、複数の前記第 1 井戸層の前記 I n 組成比 X の増加割合と等しい、半導体発光装置。

【請求項 2】

前記バッファ井戸層の前記 I n 組成比 Z は、前記第 2 井戸層の前記 I n 組成比 Y 以下 ( $X < Z < Y$ ) である、請求項 1 に記載の半導体発光装置。

【請求項 3】

前記バッファ MQW 構造は、前記第 1 MQW 構造から前記第 2 MQW 構造に向けて前記 I n 組成比 Z が一定の割合で漸増する態様で積層された複数の前記バッファ井戸層を含む、請求項 1 または 2 に記載の半導体発光装置。

10

【請求項 4】

前記第 1 MQW 構造は、前記第 1 井戸層における光の生成が前記第 1 障壁層の前記第 1 導電型不純物によって抑制される不活性構造を有している、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 5】

前記第 2 井戸層は、前記第 1 井戸層の厚さ未満の厚さを有している、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 6】

前記第 2 障壁層は、前記第 1 障壁層の厚さ未満の厚さを有している、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

20

【請求項 7】

前記第 1 障壁層は、前記第 1 井戸層の厚さを超える厚さを有している、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 8】

前記第 2 障壁層は、前記第 2 井戸層の厚さを超える厚さを有している、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 9】

前記バッファ井戸層は、前記第 2 井戸層の厚さを超える厚さを有している、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

30

【請求項 10】

前記バッファ障壁層は、前記第 1 障壁層の厚さ未満の厚さを有している、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 11】

前記第 1 井戸層は、2 nm 以上 4 nm 以下の厚さを有しており、  
前記第 2 井戸層は、1 nm 以上 2 nm 以下の厚さを有している、請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 12】

前記第 1 障壁層は、5 nm 以上 20 nm 以下の厚さを有しており、  
前記第 2 障壁層は、3 nm 以上 6 nm 以下の厚さを有している、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

40

【請求項 13】

前記第 1 井戸層の前記 I n 組成比 X は、0.01 以上 0.2 以下であり、  
前記第 2 井戸層の前記 I n 組成比 Y は、0.1 以上 0.3 以下である、請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

【請求項 14】

前記第 2 MQW 構造は、前記第 1 MQW 構造に向かって窪んだリセスを有し、  
前記第 2 半導体層は、前記リセスを埋めて前記第 2 MQW 構造を被覆し、かつ、前記リセスの内外の領域において前記第 2 MQW 構造に電氣的に接続されている、請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

50

## 【請求項 15】

前記リセスは、前記第2MQW構造の積層方向に関して、少なくとも1つの前記第2井戸層を横切っている、請求項14に記載の半導体発光装置。

## 【請求項 16】

前記リセスは、前記第1MQW構造に対して前記第2MQW構造側に形成されている、請求項14または15に記載の半導体発光装置。

## 【請求項 17】

前記第1井戸層は、410nm以上480nm未満の波長を有する光を生成し、  
前記第2井戸層は、480nm以上550nm以下の波長を有する光を生成する、請求項1～16のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

10

## 【請求項 18】

基板をさらに含み、  
前記第1半導体層は、前記基板の上に形成されている、請求項1～17のいずれか一項に記載の半導体発光装置。

## 【請求項 19】

前記基板は、六方晶基板からなり、六方晶のc面に対してm軸方向に $0.1^\circ$ 以上 $1^\circ$ 以下の角度で傾斜したオフ角を有する基板主面を含み、  
前記第1半導体層は、前記基板主面の上に形成されている、請求項18に記載の半導体発光装置。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、半導体発光装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

特許文献1は、半導体発光装置の一例としての半導体発光素子を開示している。この半導体発光素子は、サファイア基板、サファイア基板の上に形成された下部GaNクラッド層、下部GaNクラッド層の上に形成されたGaN/InGaN-MQW層、および、GaN/InGaN-MQW層の上に形成された上部GaNクラッド層を含む。

## 【先行技術文献】

30

## 【特許文献】

## 【0003】

【文献】特開2001-257379号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

本発明の一実施形態は、電流の変動に起因する発光波長の変動を抑制できる半導体発光装置を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

40

本発明の一実施形態は、第1導電型の第1半導体層と、In組成比 $X$  ( $0 < X < 1$ )を有する $In_xGa_{(1-x)}N$ を含む第1井戸層、および、第1導電型不純物が添加されたGaNを含む第1障壁層が交互に積層され、対を成す前記第1井戸層および前記第1障壁層が第1総厚さを有する積層構造を有し、前記第1半導体層の上に形成された第1MQW構造と、前記In組成比 $X$ を超えるIn組成比 $Y$  ( $X < Y < 1$ )を有する $In_yGa_{(1-y)}N$ を含む第2井戸層、および、不純物無添加のGaNを含む第2障壁層が交互に積層され、対を成す前記第2井戸層および前記第2障壁層が前記第1総厚さ未満の第2総厚さを有する積層構造を有し、前記第1MQW構造の上に形成された第2MQW構造と、前記第2MQW構造の上に形成された第2導電型の第2半導体層と、を含む、半導体発光装置を提供する。

50

## 【 0 0 0 6 】

この半導体発光装置によれば、電流の変動に起因する発光波長の変動を抑制できる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 0 7 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る半導体発光装置を示す平面図である。

【 図 2 】 図 2 は、図 1 に示すII-II線に沿う断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、図 1 に示すIII-III線に沿う断面図である。

【 図 4 】 図 4 は、活性層の構造を模式的に示す断面図である。

【 図 5 】 図 5 は、第 2 M Q W 構造の主面に形成されたりセスの拡大図である。

【 図 6 】 図 6 は、第 2 M Q W 構造の主面に形成されたりセスを説明するための模式的な斜視図である。 10

【 図 7 】 図 7 は、図 1 に示す n 側電極のバリア電極の拡大平面図である。

【 図 8 】 図 8 は、図 1 に示す p 側電極のバリア電極の拡大平面図である。

【 図 9 】 図 9 は、発光波長および順方向電流の関係を実測によって求めたグラフである。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、発光波長の最大変化量および第 2 障壁層の厚さの関係を実測によって求めたグラフである。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、図 5 に対応する領域の拡大図であって、本発明の第 2 実施形態に係る半導体発光装置を部分的に示す拡大図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 は、図 5 に対応する領域の拡大図であって、本発明の第 3 実施形態に係る半導体発光装置を部分的に示す拡大図である。 20

【 図 1 3 】 図 1 3 は、図 3 に対応する領域の断面図であって、本発明の第 4 実施形態に係る半導体発光装置を示す断面図である。

【 図 1 4 】 図 1 4 は、図 3 に対応する領域の断面図であって、本発明の第 5 実施形態に係る半導体発光装置を示す断面図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 0 8 】

以下では、添付図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る半導体発光装置 1 を示す平面図である。図 2 は、図 1 に示すII-II線に沿う断面図である。図 3 は、図 1 に示すIII-III線に沿う断面図である。図 4 は、発光層 2 3 の構造を模式的に示す断面図である。 30

図 5 は、第 2 M Q W 構造 3 2 の主面 4 2 に形成されたりセス 4 1 の拡大図である。図 6 は、第 2 M Q W 構造 3 2 の主面 4 2 に形成されたりセス 4 1 を説明するための模式的な斜視図である。図 7 は、図 1 に示す n 側電極 6 1 のバリア電極 7 5 の拡大平面図である。図 8 は、図 1 に示す p 側電極 8 1 のバリア電極 9 5 の拡大平面図である。

## 【 0 0 0 9 】

図 1 ~ 図 3 を参照して、半導体発光装置 1 は、チップ本体 2 を含む。チップ本体 2 は、一方側の第 1 チップ主面 3、他方側の第 2 チップ主面 4、ならびに、第 1 チップ主面 3 および第 2 チップ主面 4 を接続するチップ側面 5 A、5 B、5 C、5 D を含む。チップ側面 5 A ~ 5 D は、より具体的には、第 1 チップ側面 5 A、第 2 チップ側面 5 B、第 3 チップ側面 5 C および第 4 チップ側面 5 D を含む。第 1 チップ主面 3 および第 2 チップ主面 4 は、それらの法線方向 N から見た平面視（以下、単に「平面視」という。）において四角形状に形成されている。 40

## 【 0 0 1 0 】

第 1 チップ側面 5 A および第 2 チップ側面 5 B は、平面視において第 1 方向 A に沿って延び、第 1 方向 A に交差する第 2 方向 B に互いに対向している。第 3 チップ側面 5 C および第 4 チップ側面 5 D は、平面視において第 2 方向 B に沿って延び、第 1 方向 A に互いに対向している。第 2 方向 B は、より具体的には、第 1 方向 A に直交している。チップ側面 5 A ~ 5 D は、法線方向 N に沿って平面的に延びている。

## 【 0 0 1 1 】

チップ本体 2 は、より具体的には、基板 6 および半導体発光層 7 を含む積層構造を有し 50

ている。基板 6 は、チップ本体 2 の第 2 チップ主面 4 およびチップ側面 5 A ~ 5 D の一部を形成している。半導体発光層 7 は、チップ本体 2 の第 1 チップ主面 3 およびチップ側面 5 A ~ 5 D の一部を形成している。

基板 6 は、一方側の第 1 基板主面 8、他方側の第 2 基板主面 9、ならびに、第 1 基板主面 8 および第 2 基板主面 9 を接続する基板側面 10 A, 10 B, 10 C, 10 D を含む。基板側面 10 A ~ 10 D は、より具体的には、第 1 基板側面 10 A、第 2 基板側面 10 B、第 3 基板側面 10 C および第 4 基板側面 10 D を含む。

#### 【0012】

第 1 基板主面 8 および第 2 基板主面 9 は、平面視において四角形状に形成されている。第 2 基板主面 9 は、第 2 チップ主面 4 を形成している。基板側面 10 A ~ 10 D は、チップ本体 2 のチップ側面 5 A ~ 5 D の一部をそれぞれ形成している。

10

基板 6 は、光透過性基板からなる。基板 6 は、この形態では、光透過性基板の一例としての不純物無添加の六方晶基板からなる。六方晶基板は、サファイア基板、GaN 基板、ZnO 基板、AlN 基板または SiC 基板であってもよい。基板 6 は、この形態では、サファイア基板からなる。

#### 【0013】

基板 6 の第 1 基板主面 8 は、六方晶の c 面に対して m 軸方向に  $0.1^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の角度で傾斜したオフ角を有していてもよい。m 軸方向のオフ角は、第 1 基板主面 8 の法線方向 N および六方晶の c 軸の間の角度でもある。m 軸方向のオフ角は、 $0.1^\circ$  以上  $0.2^\circ$  以下、 $0.2^\circ$  以上  $0.4^\circ$  以下、 $0.4^\circ$  以上  $0.6^\circ$  以下、 $0.6^\circ$  以上  $0.8^\circ$  以下、または、 $0.8^\circ$  以上  $1^\circ$  以下であってもよい。

20

#### 【0014】

m 軸方向のオフ角は、 $0.2^\circ$  以上  $0.5^\circ$  以下であることが好ましい。m 軸方向のオフ角は、 $0.3^\circ$  以上  $0.4^\circ$  以下であることがさらに好ましい。第 1 基板主面 8 における c 面に対する a 軸方向のオフ角は  $0^\circ$  であることが好ましい。

基板 6 の厚さは、 $50\ \mu\text{m}$  以上  $350\ \mu\text{m}$  以下であってもよい。基板 6 の厚さは、 $50\ \mu\text{m}$  以上  $100\ \mu\text{m}$  以下、 $100\ \mu\text{m}$  以上  $150\ \mu\text{m}$  以下、 $150\ \mu\text{m}$  以上  $200\ \mu\text{m}$  以下、 $200\ \mu\text{m}$  以上  $250\ \mu\text{m}$  以下、 $250\ \mu\text{m}$  以上  $300\ \mu\text{m}$  以下、または、 $300\ \mu\text{m}$  以上  $350\ \mu\text{m}$  以下であってもよい。

#### 【0015】

基板 6 の第 1 基板主面 8 には、この形態では、凹凸構造 (an uneven structure) 11 が形成されている。凹凸構造 11 は、半導体発光層 7 で生成された光をチップ本体 2 の第 1 チップ主面 3 に向けて乱反射させる。これにより、半導体発光層 7 で生成された光の取り出し効率が高められる。

30

凹凸構造 11 は、この形態では、基板 6 の第 1 基板主面 8 との間で凹凸を形成する複数の突出部 12 を含む。複数の突出部 12 は、互いに間隔を空けて第 1 基板主面 8 の上に配置されている。複数の突出部 12 は、平面視において行列状または千鳥状に配置されていてもよい。複数の突出部 12 は、錐台形状、ドーム形状または半球形状に形成されている。複数の突出部 12 は、錐台形状の一例として、円錐台形状または  $n(n-3)$  角錐台形状に形成されていてもよい。

40

#### 【0016】

複数の突出部 12 は、この形態では、絶縁体をそれぞれ含む。複数の突出部 12 は、絶縁体の一例としての酸化シリコンまたは窒化シリコンをそれぞれ含んでいてもよい。複数の突出部 12 は、この形態では、窒化シリコンからなる。

半導体発光層 7 は、基板 6 の第 1 基板主面 8 の上に積層されている。半導体発光層 7 は、この形態では、 $480\ \text{nm}$  以上  $550\ \text{nm}$  以下の範囲にドミナント波長 WL (発光波長) を有する光を生成する。半導体発光層 7 のドミナント波長 WL は、より具体的には、 $480\ \text{nm}$  以上  $510\ \text{nm}$  以下である。つまり、半導体発光層 7 は、青緑色領域の光を生成する。ターコイズブルーやシアンブルー等が、青緑色領域の光色として例示される。半導体発光層 7 で生成された光は、チップ本体 2 の第 1 チップ主面 3 から取り出される。

50

## 【 0 0 1 7 】

半導体発光層 7 は、半導体主面 1 3 および半導体側面 1 4 A , 1 4 B , 1 4 C , 1 4 D を含む。半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D は、より具体的には、第 1 半導体側面 1 4 A、第 2 半導体側面 1 4 B、第 3 半導体側面 1 4 C および第 4 半導体側面 1 4 D を含む。

半導体主面 1 3 は、平面視において四角形状に形成されている。半導体主面 1 3 は、光取り出し面である。半導体主面 1 3 は、第 1 チップ主面 3 を形成している。半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D は、基板側面 1 0 A ~ 1 0 D に連なっている。半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D は、基板側面 1 0 A ~ 1 0 D に対して面一に形成されている。半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D は、チップ本体 2 のチップ側面 5 A ~ 5 D の一部をそれぞれ形成している。

## 【 0 0 1 8 】

半導体発光層 7 は、III 族窒化物半導体層からなる。半導体発光層 7 は、エピタキシャル成長法によって基板 6 の第 1 基板主面 8 の上に形成されている。したがって、半導体発光層 7 の結晶面 (半導体主面 1 3) は、第 1 基板主面 8 の結晶面に一致している。

半導体発光層 7 は、基板 6 の第 1 基板主面 8 側からこの順に積層されたバッファ層 2 1、n 型半導体層 2 2、発光層 2 3、p 型半導体層 2 4 を含む積層構造を有している。発光層 2 3 は、n 型半導体層 2 2 に対してヘテロ接合されている。p 型半導体層 2 4 は、発光層 2 3 に対してヘテロ接合されている。これにより、n 型半導体層 2 2、発光層 2 3、p 型半導体層 2 4 を含むダブルヘテロ構造が形成されている。

## 【 0 0 1 9 】

n 型半導体層 2 2 および p 型半導体層 2 4 の間に順方向電圧  $V_F$  が印加されると、n 型半導体層 2 2 から発光層 2 3 に電子が供給され、p 型半導体層 2 4 から発光層 2 3 に正孔が供給される。発光層 2 3 に供給された電子および正孔は、発光層 2 3 において結合する。これにより、発光層 2 3 において光が生成される。

バッファ層 2 1 は、不純物無添加の GaN を含む。基板 6 の第 1 基板主面 8 の上において、複数の突出部 1 2 を被覆している。バッファ層 2 1 の厚さは、 $0.1 \mu\text{m}$  以上  $5 \mu\text{m}$  以下であってもよい。バッファ層 2 1 の厚さは、 $0.1 \mu\text{m}$  以上  $0.5 \mu\text{m}$  以下、 $0.5 \mu\text{m}$  以上  $1 \mu\text{m}$  以下、 $1 \mu\text{m}$  以上  $1.5 \mu\text{m}$  以下、 $1.5 \mu\text{m}$  以上  $2 \mu\text{m}$  以下、 $2 \mu\text{m}$  以上  $3 \mu\text{m}$  以下、 $3 \mu\text{m}$  以上  $4 \mu\text{m}$  以下、または、 $4 \mu\text{m}$  以上  $5 \mu\text{m}$  以下であってもよい。

## 【 0 0 2 0 】

バッファ層 2 1 は、この形態では、複数の空孔 2 5 を含む。複数の空孔 2 5 は、複数の突出部 1 2 の頂部の上にそれぞれ形成されている。複数の空孔 2 5 は、複数の突出部 1 2 を起点にそれぞれ形成され、複数の突出部 1 2 の頂部に対して、1 対 1 対応の関係で形成されている。複数の空孔 2 5 は、断面視において複数の突出部 1 2 の頂部から半導体主面 1 3 に向けて法線方向 N に沿って延びるライン状に形成されている。

## 【 0 0 2 1 】

バッファ層 2 1 は、この形態では、基板 6 の第 1 基板主面 8 の上に積層された複数 (2 以上) のバッファ層を含む。バッファ層の積層数は任意であり、特定の積層数に限定されない。バッファ層 2 1 は、この形態では、第 1 基板主面 8 側からこの順に積層された第 1 バッファ層 2 6、第 2 バッファ層 2 7 および第 3 バッファ層 2 8 を含む。第 1 バッファ層 2 6、第 2 バッファ層 2 7 および第 3 バッファ層 2 8 は、不純物無添加の GaN をそれぞれ含む。

## 【 0 0 2 2 】

第 1 バッファ層 2 6 は、基板 6 の第 1 基板主面 8 を被覆している。第 1 バッファ層 2 6 は、第 1 基板主面 8 の上に膜状に結晶成長された GaN を含む。第 1 バッファ層 2 6 は、複数の突出部 1 2 の頂部に対して基板 6 の第 1 基板主面 8 側の領域に形成されている。

第 2 バッファ層 2 7 は、第 1 バッファ層 2 6 の上に形成されている。第 2 バッファ層 2 7 は、第 1 バッファ層 2 6 の上に 3 次元的に結晶成長された GaN を含む。第 2 バッファ層 2 7 は、第 1 バッファ層 2 6 から半導体主面 1 3 に向かう先細り形状に形成されている。第 2 バッファ層 2 7 は、基部および頂部を有している。

## 【 0 0 2 3 】

10

20

30

40

50

第2バッファ層27の基部は、複数の突出部12の頂部に対して基板6の第1基板主面8側に位している。第2バッファ層27の頂部は、複数の突出部12の頂部に対して半導体主面13側に突出している。第2バッファ層27は、少なくとも複数の突出部12の頂部を露出させるように形成されている。第2バッファ層27は、この形態では、複数の突出部12の頂部および側壁の一部を露出させている。

【0024】

第3バッファ層28は、第2バッファ層27の上に形成されている。第3バッファ層28は、第2バッファ層27の上に2次元的に結晶成長されたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を含む。第3バッファ層28は、第2バッファ層27および複数の突出部12を被覆している。第3バッファ層28は、複数の突出部12の頂部との間で複数の空孔25を区画している。

10

n型半導体層22は、バッファ層21の上に形成されている。n型半導体層22は、この形態では、n型コンタクト層29およびn型クラッド層30を含む積層構造を有している。

【0025】

n型コンタクト層29は、この形態では、n型不純物が添加されたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を含む。n型コンタクト層29は、n型不純物の一例としてのシリコンを含んでいてもよい。n型コンタクト層29のn型不純物濃度は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。n型コンタクト層29のn型不純物濃度は、この形態では、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

【0026】

n型コンタクト層29の厚さは、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。n型コンタクト層29の厚さは、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $1 \mu\text{m}$ 以下、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下、 $2 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下、 $4 \mu\text{m}$ 以上 $6 \mu\text{m}$ 以下、 $6 \mu\text{m}$ 以上 $8 \mu\text{m}$ 以下、または、 $8 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

20

n型クラッド層30は、この形態では、n型不純物が添加されたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を含む。n型クラッド層30は、n型不純物の一例としてのシリコンを含んでいてもよい。n型クラッド層30のn型不純物濃度は、n型コンタクト層29のn型不純物濃度以下であってもよい。n型クラッド層30のn型不純物濃度は、n型コンタクト層29のn型不純物濃度未満であることが好ましい。n型クラッド層30のn型不純物濃度は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。n型クラッド層30のn型不純物濃度は、この形態では、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

30

【0027】

n型クラッド層30の厚さは、 $50 \text{ nm}$ 以上 $500 \text{ nm}$ 以下であってもよい。n型クラッド層30の厚さは、 $50 \text{ nm}$ 以上 $100 \text{ nm}$ 以下、 $100 \text{ nm}$ 以上 $150 \text{ nm}$ 以下、 $150 \text{ nm}$ 以上 $200 \text{ nm}$ 以下、 $200 \text{ nm}$ 以上 $250 \text{ nm}$ 以下、 $250 \text{ nm}$ 以上 $300 \text{ nm}$ 以下、 $300 \text{ nm}$ 以上 $350 \text{ nm}$ 以下、 $350 \text{ nm}$ 以上 $400 \text{ nm}$ 以下、 $400 \text{ nm}$ 以上 $450 \text{ nm}$ 以下、または、 $450 \text{ nm}$ 以上 $500 \text{ nm}$ 以下であってもよい。n型クラッド層30の厚さは、この形態では、 $200 \text{ nm}$ 程度である。

【0028】

図2～図4を参照して、発光層23は、n型半導体層22の上に形成されている。発光層23は、複数の井戸層および複数の障壁層が交互に積層された多重量子井戸構造を有している。以下では、多重量子井戸構造を単に「MQW (Multiple Quantum Well) 構造」という。発光層23は、より具体的には、第1MQW構造31、第2MQW構造32およびバッファMQW構造33を含む。

40

【0029】

第1MQW構造31は、n型半導体層22の上に形成されている。第1MQW構造31は、第1井戸層34および第1障壁層35が交互に積層された積層構造を有している。第1MQW構造31は、この形態では、4つの第1井戸層34および5つの第1障壁層35を含む。第1MQW構造31の最下層および最上層は、この形態では、第1障壁層35によってそれぞれ形成されている。

50

## 【0030】

第1井戸層34および第1障壁層35の積層数および積層順序は任意である。したがって、第1MQW構造31の最下層および/または最上層は、第1井戸層34によって形成されていてもよい。第1井戸層34および第1障壁層35は、たとえば、2以上10以下の周期で交互に積層されていてもよい。

第1井戸層34は、In組成比X ( $0 < X < 1$ )を有する不純物無添加の $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$ を含む。第1井戸層34は、410nm以上480nm未満の範囲にピーク発光波長を有する青色光を生成する青色発光層として形成されている。

## 【0031】

In組成比Xは、0.01以上0.2以下であってもよい。In組成比Xは、0.01以上0.025以下、0.025以上0.05以下、0.05以上0.075以下、0.075以上0.1以下、0.1以上0.125以下、0.125以上0.15以下、0.15以上0.175以下、または、0.175以上0.2以下であってもよい。In組成比Xは、0.04以上0.18以下であることが好ましい。

10

## 【0032】

複数の第1井戸層34は、互いに等しいIn組成比Xを有していてもよいし、互いに異なるIn組成比Xを有していてもよい。In組成比Xが互いに等しいとは、In組成比Xが等しくなる条件下で複数の第1井戸層34が形成されていることを意味する。In組成比Xの間には、±10%程度の誤差が生じていてもよい。

複数の第1井戸層34は、この形態では、n型半導体層22から離れる方向にIn組成比Xが漸増する態様で積層されている。複数の第1井戸層34は、In組成比Xが一定の割合で漸増する態様で積層されていることが好ましい。一例として、複数の第1井戸層34は、最下の第1井戸層34から最上の第1井戸層34に向けて、In組成比Xが0.04、0.08、0.12、0.16となるように積層されていてもよい。

20

## 【0033】

第1障壁層35は、n型不純物が添加されたGaNを含む。第1障壁層35は、n型不純物の一例としてのシリコンを含んでいてもよい。第1障壁層35の不純物濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

第1障壁層35は、p型半導体層24から供給される正孔をn型不純物によって捕獲する。これにより、第1井戸層34に供給される正孔が減少するため、第1井戸層34における光の生成が抑制される。第1井戸層34で生成される光のピーク発光波長は、微弱(ノイズレベル)である。第1井戸層34で生成される青色光は、半導体発光層7から取り出される光のドミナント波長WL(光色)に殆ど寄与しない。

30

## 【0034】

つまり、第1MQW構造31は、第1井戸層34における光の生成が第1障壁層35のn型不純物によって抑制される不活性構造(an inactive structure)を有している。第1MQW構造31は、インジウムに起因する格子サイズの変化を抑制する応力緩和構造として形成されている。

積層方向に対を成す1つの第1井戸層34および1つの第1障壁層35は、第1総厚さT1を有している。第1総厚さT1は、第1井戸層34の厚さTW1および第1障壁層35の厚さTB1の合計値( $T1 = TW1 + TB1$ )である。

40

## 【0035】

第1井戸層34の厚さTW1は、2nm以上4nm以下であってもよい。厚さTW1は、2nm以上2.5nm以下、2.5nm以上3nm以下、3nm以上3.5nm以下、または、3.5nm以上4nm以下であってもよい。厚さTW1は、2.5nm以上3.5nm以下であることが好ましい。

複数の第1井戸層34は、互いに等しい厚さTW1を有していてもよいし、互いに異なる厚さTW1を有していてもよい。複数の第1井戸層34は、互いに等しい厚さTW1で形成されていることが好ましい。厚さTW1が互いに等しいとは、厚さTW1が等しくなる条件下で複数の第1井戸層34が形成されていることを意味する。厚さTW1の間には

50

、 $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じていてもよい。

【0036】

第1障壁層35の厚さTB1は、第1井戸層34の厚さTW1を超えている( $TW1 < TB1$ )。厚さTB1は、5nm以上20nm以下であってもよい。厚さTB1は、5nm以上7.5nm以下、7.5nm以上10nm以下、10nm以上12.5nm以下、12.5nm以上15nm以下、15nm以上17.5nm以下、または、17.5nm以上20nm以下であってもよい。厚さTB1は、8nm以上16nm以下であることが好ましい。

【0037】

複数の第1障壁層35は、互いに等しい厚さTB1を有していてもよいし、互いに異なる厚さTB1を有していてもよい。厚さTB1が互いに等しいとは、厚さTB1が等しくなる条件下で複数の第1障壁層35が形成されていることを意味する。厚さTB1の間には、 $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じていてもよい。

10

複数の第1障壁層35は、この形態では、最上の第1障壁層35の厚さTB1が、他の第1障壁層35の厚さTB1未満となる態様で形成されている。最上の第1障壁層35の厚さTB1は、この形態では、10nm程度である。他の第1障壁層35の厚さTB1は、この形態では、15nm程度である。このような構造は、第2MQW構造32との関係において、発光層23内の応力を緩和する上で有効である。

【0038】

第2MQW構造32は、第1MQW構造31の上に形成されている。第2MQW構造32は、第2井戸層36および第2障壁層37が交互に積層された積層構造を有している。第2MQW構造32は、この形態では、3つの第2井戸層36および2つの第2障壁層37を含む。第2MQW構造32の最下層は、この形態では、第2井戸層36によって形成されている。第2MQW構造32は、この形態では、第2MQW構造32の最上層を形成する最上障壁層38を含む。

20

【0039】

第2井戸層36および第2障壁層37の積層数および積層順序は任意である。したがって、第2MQW構造32の最下層は、第2障壁層37によって形成されていてもよい。また、第2MQW構造32の最上層は、第2井戸層36によって形成されていてもよい。第2井戸層36および第2障壁層37は、たとえば、2以上10以下の周期で交互に積層されていてもよい。ただし、第2井戸層36および第2障壁層37の積層数は、第1井戸層34および第1障壁層35の積層数未満であることが好ましい。

30

【0040】

第2井戸層36は、第1井戸層34のIn組成比Xを超えるIn組成比Y( $X < Y - 1$ )を有する不純物無添加の $In_yGa_{(1-y)}N$ を含む。第2井戸層36は、480nm以上550nm以下の範囲にピーク発光波長を有する青緑色光を生成する青緑色発光層として形成されている。第2井戸層36のピーク発光波長は、より具体的には、480nm以上510nm以下である。第1井戸層34で生成される青緑色光は、半導体発光層7から取り出される光のドミナント波長WL(光色)に寄与する。

【0041】

In組成比Yは、0.1以上0.3以下であってもよい。In組成比Yは、0.1以上0.125以下、0.125以上0.15以下、0.15以上0.175以下、0.175以上0.2以下、0.2以上0.225以下、0.225以上0.25以下、0.25以上0.275以下、または、0.275以上0.3以下であってもよい。In組成比Yは、0.15以上0.25以下であることが好ましい。

40

【0042】

複数の第2井戸層36は、In組成比Yが一定となる態様で積層されている。これにより、第2井戸層36のピーク発光波長のばらつきを適切に抑制できる。一例として、複数の第2井戸層36は、全てのIn組成比Yが0.18となるように積層されていてもよい。

In組成比Yが一定であるとは、In組成比Yが一定となる条件下で複数の第2井戸層

50

36が形成されていることを意味する。In組成比Yの間には、±10%程度の誤差が生じていてもよい。In組成比Yの誤差は、±5%以下であることが好ましい。

【0043】

複数の第2井戸層36は、互いに異なるIn組成比Yを有していてもよい。ただし、この場合、複数の第2井戸層36のピーク発光波長にばらつきが生じる点に留意する。複数の第2井戸層36は、第1MQW構造31から離れる方向にIn組成比Yが漸増する態様で積層されていてもよい。

この場合、複数の第2井戸層36は、In組成比Yが一定の割合で漸増する態様で積層されていてもよい。一例として、複数の第2井戸層36は、最下の第2井戸層36から最上の第2井戸層36に向けて、In組成比Yが0.18、0.2、0.22となるように積層されていてもよい。

10

【0044】

第2障壁層37は、不純物無添加のGaNを含む。第2障壁層37は、p型半導体層24から供給される正孔を通過させる。これにより、第2障壁層37における正孔の消費(捕獲)が抑制されるから、第2井戸層36において光が効率的に生成される。したがって、第2MQW構造32は、第2井戸層36において光を生成する活性構造(an active structure)を有している。

【0045】

第2障壁層37は、第1MQW構造31に係る第1障壁層35のIn組成比Xを超えるIn組成比Yを有している。したがって、第2MQW構造32がn型半導体層22の上に直接形成される場合、格子サイズの急激な変化に起因して発光層23内における応力が増加する。第2MQW構造32に生じる応力は、第1MQW構造31によって緩和されている。

20

【0046】

積層方向に対を成す1つの第2井戸層36および1つの第2障壁層37は、第2総厚さT2を有している。第2総厚さT2は、第2井戸層36の厚さTW2および第2障壁層37の厚さTB2の合計値( $T2 = TW2 + TB2$ )である。第2総厚さT2は、第1MQW構造31に係る第1総厚さT1未満( $T2 < T1$ )である。

第2井戸層36の厚さTW2は、第1井戸層34の厚さTW1未満( $TW2 < TW1$ )である。厚さTW2は、1nm以上2nm以下であってもよい。厚さTW2は、1nm以上1.25nm以下、1.25nm以上1.5nm以下、1.5nm以上1.75nm以下、または、1.75nm以上2nm以下であってもよい。厚さTW2は、1.5nm以上2nm以下であることが好ましい。厚さTW2は、2nm未満であることが好ましい。

30

【0047】

複数の第2井戸層36は、互いに等しい厚さTW2を有していてもよいし、互いに異なる厚さTW2を有していてもよい。複数の第2障壁層37は、互いに等しい厚さTW2で形成されていることが好ましい。厚さTW2が互いに等しいとは、厚さTW2が等しくなる条件下で複数の第2井戸層36が形成されていることを意味する。厚さTW2の間には、±10%程度の誤差が生じていてもよい。

【0048】

第2障壁層37の厚さTB2は、第2井戸層36の厚さTW2を超えている( $TW2 < TB2$ )。第2障壁層37の厚さTB2は、第1障壁層35の厚さTB1未満( $TB2 < TB1$ )である。第2障壁層37の厚さTB2は、第1障壁層35の厚さTB1の1/2以下( $TB2 < TB1/2$ )であることが好ましい。

40

厚さTB2は、3nm以上6nm以下であってもよい。厚さTB2は、3nm以上3.5nm以下、3.5nm以上4nm以下、4nm以上4.5nm以下、または、4.5nm以上5nm以下、5nm以上5.5nm以下、または、5.5nm以上6nm以下であってもよい。厚さTB2は、4nm以上5nm以下であることが好ましい。厚さTB2は、5nm未満であることが好ましい。

【0049】

50

複数の第2障壁層37は、互いに等しい厚さTB2を有していてもよいし、互いに異なる厚さTB2を有していてもよい。厚さTB2が互いに等しいとは、厚さTB2が等しくなる条件下で複数の第2障壁層37が形成されていることを意味する。厚さTB2の間には、±10%程度の誤差が生じていてもよい。

最上障壁層38は、第2障壁層37の厚さTB2とは異なる厚さTBtopを有している点を除いて、第2障壁層37と同一の態様で形成されている。最上障壁層38の厚さTBtopは、第2障壁層37の厚さTB2を超えている(TB2 < TBtop)。第2MQW構造32の最上層は、最上障壁層38に代えて第2障壁層37によって形成されていてもよい。

#### 【0050】

バッファMQW構造33は、第1MQW構造31および第2MQW構造32の間の領域に介在されている。バッファMQW構造33は、バッファ井戸層39およびバッファ障壁層40が積層された積層構造を有している。

バッファMQW構造33は、この形態では、1つのバッファ井戸層39および1つのバッファ障壁層40を含む。バッファMQW構造33の最下層は、この形態では、バッファ井戸層39によって形成されている。バッファMQW構造33の最上層は、この形態では、バッファ障壁層40によって形成されている。

#### 【0051】

バッファ井戸層39およびバッファ障壁層40の積層数は任意である。バッファ井戸層39およびバッファ障壁層40は、たとえば、2以上10以下の周期で交互に積層されていてもよい。バッファ井戸層39およびバッファ障壁層40の積層順序は、第1MQW構造31の最上層および第2MQW構造32の最下層に応じて調整される。

第1MQW構造31の最上層が第1井戸層34によって形成されている場合、バッファMQW構造33の最下層は、バッファ障壁層40によって形成される。第1MQW構造31の最上層が第1障壁層35によって形成されている場合、バッファMQW構造33の最下層は、バッファ井戸層39によって形成される。

#### 【0052】

第2MQW構造32の最下層が第2井戸層36によって形成されている場合、バッファMQW構造33の最上層は、バッファ障壁層40によって形成される。第1MQW構造31の最下層が第2障壁層37によって形成されている場合、バッファMQW構造33の最上層は、バッファ井戸層39によって形成される。

バッファ井戸層39は、第1井戸層34のIn組成比Xを超えるIn組成比Z( $X < Z$ )を有する不純物無添加のInzGa(1-z)Nを含む。バッファ井戸層39のIn組成比Zは、第2井戸層36のIn組成比Y以下( $X < Z < Y$ )である。

#### 【0053】

In組成比Zは、この形態では、In組成比Yと等しい( $Z = Y$ )。In組成比ZがIn組成比Yと等しいとは、In組成比ZがIn組成比Yと等しくなる条件下でバッファ井戸層39が形成されていることを意味する。In組成比Zには、In組成比Yの±10%程度の誤差が生じていてもよい。

バッファ井戸層39は、480nm以上550nm以下の範囲にピーク発光波長を有する青緑色光を生成する青緑色発光層として形成されている。バッファ井戸層39のピーク発光波長は、より具体的には、480nm以上510nm以下である。

#### 【0054】

In組成比Zは、0.1以上0.3以下であってもよい。In組成比Zは、0.1以上0.125以下、0.125以上0.15以下、0.15以上0.175以下、0.175以上0.2以下、0.2以上0.225以下、0.225以上0.25以下、0.25以上0.275以下、または、0.275以上0.3以下であってもよい。In組成比Zは、0.15以上0.25以下であることが好ましい。

#### 【0055】

積層方向に隣り合う第1井戸層34およびバッファ井戸層39の間において、In組成

10

20

30

40

50

比XおよびIn組成比Zの間の増加割合は、複数の第1井戸層34のIn組成比Xの増加割合と等しいことが好ましい。これにより、第1MQW構造31およびバッファMQW構造33の間においてIn組成比XおよびIn組成比Zの急激な変動が抑制される。

In組成比XおよびIn組成比Zの間の増加割合がIn組成比Xの増加割合と等しいとは、In組成比XおよびIn組成比Zの間の増加割合がIn組成比Xの増加割合と等しくなる条件下で、バッファ井戸層39が形成されていることを意味する。In組成比XおよびIn組成比Zの間の増加割合には、In組成比Xの増加割合の±10%程度の誤差が生じていてもよい。

#### 【0056】

バッファ障壁層40は、n型不純物が添加されたGaNを含む。バッファ障壁層40は、n型不純物の一例としてのシリコンを含んでいてもよい。バッファ障壁層40の不純物濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。

バッファ障壁層40は、p型半導体層24から供給される正孔をn型不純物によって捕獲する。これにより、バッファ井戸層39に供給される正孔が減少するため、バッファ井戸層39における光の生成が抑制される。また、第1MQW構造31に供給される正孔も減少するため、第1MQW構造31における光の生成も抑制される。

#### 【0057】

バッファ井戸層39で生成される光のピーク発光波長は、微弱（ノイズレベル）である。また、バッファ井戸層39で生成されるピーク発光波長は、第2MQW構造32（第2井戸層36）で生成されるピーク発光波長と等しい。したがって、バッファ井戸層39で生成される光は、半導体発光層7から取り出される光のドミナント波長WL（光色）に影響しない。

#### 【0058】

積層方向に対を成す1つのバッファ井戸層39および1つのバッファ障壁層40は、第3総厚さT3を有している。第3総厚さT3は、バッファ井戸層39の厚さTW3およびバッファ障壁層40の厚さTB3の合計値（ $T3 = TW3 + TB3$ ）である。

第3総厚さT3は、第1MQW構造31に係る第1総厚さT1以下（ $T3 < T1$ ）である。第3総厚さT3は、第2MQW構造32に係る第2総厚さT2以上（ $T2 < T3$ ）である。第3総厚さT3は、この形態では、第2総厚さT2を超えて第1総厚さT1未満（ $T2 < T3 < T1$ ）である。

#### 【0059】

バッファ井戸層39の厚さTW3は、第2井戸層36の厚さTW2を超えている（ $TW2 < TW3$ ）。バッファ井戸層39の厚さTW3は、第1井戸層34の厚さTW1以下（ $TW3 < TW1$ ）であることが好ましい。バッファ井戸層39の厚さTW3は、この形態では、第1井戸層34の厚さTW1と等しい（ $TW3 = TW1$ ）。

厚さTW3が厚さTW1と等しいとは、厚さTW3が厚さTW1と等しくなる条件下でバッファ井戸層39が形成されていることを意味する。厚さTW3には、厚さTW1の±10%程度の誤差が生じていてもよい。

#### 【0060】

厚さTW3は、2nm以上4nm以下であってもよい。厚さTW3は、2nm以上2.5nm以下、2.5nm以上3nm以下、3nm以上3.5nm以下、または、3.5nm以上4nm以下であってもよい。厚さTW3は、2.5nm以上3.5nm以下であることが好ましい。

バッファ障壁層40の厚さTB3は、バッファ井戸層39の厚さTW3を超えている（ $TW3 < TB3$ ）。バッファ障壁層40の厚さTB3は、第1障壁層35の厚さTB1以下（ $TB3 < TB1$ ）である。バッファ障壁層40の厚さTB3は、第1障壁層35の厚さTB1未満（ $TB3 < TB1$ ）であることが好ましい。バッファ障壁層40の厚さTB3は、第1障壁層35の厚さTB1の1/2以下（ $TB3 < TB1/2$ ）であることがさらに好ましい。

#### 【0061】

10

20

30

40

50

バッファ障壁層 40 の厚さ  $T B 3$  は、第 2 障壁層 37 の厚さ  $T B 2$  以下 ( $T B 3 = T B 2$ ) であってもよい。バッファ障壁層 40 の厚さ  $T B 3$  は、この形態では、第 2 障壁層 37 の厚さ  $T B 2$  と等しい ( $T B 3 = T B 2$ )。

厚さ  $T B 3$  が厚さ  $T B 2$  と等しいとは、厚さ  $T B 3$  が厚さ  $T B 2$  と等しくなる条件下でバッファ井戸層 39 が形成されていることを意味する。厚さ  $T B 3$  には、厚さ  $T B 2$  の  $\pm 10\%$  程度の誤差が生じていてもよい。

【0062】

厚さ  $T B 3$  は、 $3 \text{ nm}$  以上  $6 \text{ nm}$  以下であってもよい。厚さ  $T B 3$  は、 $3 \text{ nm}$  以上  $3.5 \text{ nm}$  以下、 $3.5 \text{ nm}$  以上  $4 \text{ nm}$  以下、 $4 \text{ nm}$  以上  $4.5 \text{ nm}$  以下、 $4.5 \text{ nm}$  以上  $5 \text{ nm}$  以下、 $5 \text{ nm}$  以上  $5.5 \text{ nm}$  以下、または、 $5.5 \text{ nm}$  以上  $6 \text{ nm}$  以下であってもよい。厚さ  $T B 3$  は、 $4 \text{ nm}$  以上  $5 \text{ nm}$  以下であることが好ましい。厚さ  $T B 3$  は、 $5 \text{ nm}$  未満であることが好ましい。

10

【0063】

このように、バッファ MQW 構造 33 は、第 1 MQW 構造 31 の機能および第 2 MQW 構造 32 の機能の双方を有している。バッファ MQW 構造 33 を第 1 MQW 構造 31 および第 2 MQW 構造 32 の間の領域に介在させることにより、第 1 MQW 構造 31 における光の生成を適切に抑制し、第 2 MQW 構造 32 において光を適切に生成させることができる。また、第 1 MQW 構造 31 および第 2 MQW 構造 32 の間における格子サイズの急激な変化を抑制できる。

【0064】

複数のバッファ井戸層 39 が形成されている場合、複数のバッファ井戸層 39 は、互いに等しい  $I n$  組成比  $Z$  を有していてもよいし、互いに異なる  $I n$  組成比  $Z$  を有していてもよい。 $I n$  組成比  $Z$  が互いに等しいとは、 $I n$  組成比  $Z$  が等しくなる条件下で複数のバッファ井戸層 39 が形成されていることを意味する。 $I n$  組成比  $Z$  の間には、 $\pm 10\%$  程度の誤差が生じていてもよい。

20

【0065】

複数のバッファ井戸層 39 は、第 2 MQW 構造 32 と同様に、 $I n$  組成比  $Z$  が一定となる態様で積層されていてもよい。一例として、全てのバッファ井戸層 39 は、第 2 井戸層 36 の  $I n$  組成比  $Y$  と等しい  $I n$  組成比  $Z$  で積層されていてもよい。

複数のバッファ井戸層 39 は、第 1 MQW 構造 31 から第 2 MQW 構造 32 に向けて  $I n$  組成比  $Z$  が漸増する態様で積層されていてもよい。複数のバッファ井戸層 39 は、 $I n$  組成比  $Z$  が一定の割合で漸増する態様で積層されていることが好ましい。

30

【0066】

この場合、積層方向に隣り合う第 1 井戸層 34 およびバッファ井戸層 39 の間において、 $I n$  組成比  $X$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合は、複数の第 1 井戸層 34 の  $I n$  組成比  $X$  の増加割合と等しいことが好ましい。

$I n$  組成比  $X$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合が  $I n$  組成比  $X$  の増加割合と等しいとは、 $I n$  組成比  $X$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合が  $I n$  組成比  $X$  の増加割合と等しくなる条件下でバッファ井戸層 39 が形成されていることを意味する。 $I n$  組成比  $X$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合には、 $I n$  組成比  $X$  の増加割合の  $\pm 10\%$  程度の誤差が生じていてもよい。

40

【0067】

また、積層方向に隣り合う第 2 井戸層 36 およびバッファ井戸層 39 の間において、 $I n$  組成比  $Y$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合は、複数のバッファ井戸層 39 の  $I n$  組成比  $Z$  の増加割合と等しいことが好ましい。

$I n$  組成比  $Y$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合が  $I n$  組成比  $Z$  の増加割合と等しいとは、 $I n$  組成比  $Y$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合が  $I n$  組成比  $Z$  の増加割合と等しくなる条件下で第 2 井戸層 36 が形成されていることを意味する。 $I n$  組成比  $Y$  および  $I n$  組成比  $Z$  の間の増加割合には、 $I n$  組成比  $Z$  の増加割合の  $\pm 10\%$  程度の誤差が生じていてもよい。

50

## 【 0 0 6 8 】

複数のバッファ井戸層 3 9 は、互いに等しい厚さ  $T W 3$  を有していてもよいし、互いに異なる厚さ  $T W 3$  を有していてもよい。複数のバッファ障壁層 4 0 は、互いに等しい厚さ  $T B 3$  を有していてもよいし、互いに異なる厚さ  $T B 3$  を有していてもよい。

図 3、図 5 および図 6 を参照して、第 2 M Q W 構造 3 2 は、この形態では、第 1 M Q W 構造 3 1 に向かって窪んだ複数のリセス 4 1 が形成された主面 4 2 を有している。複数のリセス 4 1 は、第 2 M Q W 構造 3 2 の主面 4 2 に互いに間隔を空けて形成されている。複数のリセス 4 1 は、平面視において不規則なパターンで形成されている。複数のリセス 4 1 は、単位面積当たり  $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$  以上  $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  以下の密度で形成されている。

10

## 【 0 0 6 9 】

複数のリセス 4 1 は、第 1 M Q W 構造 3 1 に対して第 2 M Q W 構造 3 2 側に間隔を空けて形成されていることが好ましい。複数のリセス 4 1 は、法線方向 N に関して、少なくとも 1 つの第 2 井戸層 3 6 を横切る深さを有していることが好ましい。複数のリセス 4 1 は、この形態では、法線方向 N に関して、第 2 M Q W 構造 3 2 に含まれる全ての第 2 井戸層 3 6 を横切る深さで形成されている。

## 【 0 0 7 0 】

複数のリセス 4 1 は、この形態では、第 2 M Q W 構造 3 2 に導入された V ピット 4 3 からなる。V ピット 4 3 は、V 欠陥とも称される。V ピット 4 3 は、たとえば、基板 6 からの貫通転移や、発光層 2 3 内の結晶欠陥（より具体的には任意の井戸層）等を起点にして形成される。

20

V ピット 4 3 は、六方晶 (G a N) の結晶面に対応した逆六角錐形状に形成される。V ピット 4 3 は、実際には結晶成長のばらつきを伴うため、逆円錐形状、または、逆円錐形状に近い逆六角錐形状に形成される。

## 【 0 0 7 1 】

V ピット 4 3 の頂角  $V$  は、 $50^\circ$  以上  $60^\circ$  以下であってもよい。頂角  $V$  は、V ピット 4 3 を対角線に沿って切断したときに現れる頂角である。頂角  $V$  は、 $50^\circ$  以上  $52^\circ$  以下、 $52^\circ$  以上  $54^\circ$  以下、 $54^\circ$  以上  $56^\circ$  以下、 $56^\circ$  以上  $58^\circ$  以下、または、 $58^\circ$  以上  $60^\circ$  以下であってもよい。頂角  $V$  は、この形態では、 $55^\circ$  以上  $57^\circ$  以下である。

30

## 【 0 0 7 2 】

V ピット 4 3 は、第 2 M Q W 構造 3 2 の主面 4 2 に対して第 1 M Q W 構造 3 1 側に下り傾斜した 6 個の傾斜ファセット面 4 4 A, 4 4 B, 4 4 C, 4 4 D, 4 4 E, 4 4 F を含む。傾斜ファセット面 4 4 A ~ 4 4 F は、六方晶の c 面以外の面である。

傾斜ファセット面 4 4 A ~ 4 4 F は、より具体的には、六方晶の半極性面によって形成されている。六方晶は 6 回対称であり、 $60^\circ$  毎に等価な結晶面および等価な結晶方向を有している。したがって、各傾斜ファセット面 4 4 A ~ 4 4 F は、六方晶が示す結晶対称性を有している。

## 【 0 0 7 3 】

各傾斜ファセット面 4 4 A ~ 4 4 F は、 $(1 - 101)$  面、 $(1 - 102)$  面、 $(11 - 22)$  面および  $(20 - 21)$  面のうちのいずれかを含んでいてもよい。つまり、各傾斜ファセット面 4 4 A ~ 4 4 F は、 $(1 - 101)$  面に等価な結晶面、 $(1 - 102)$  面に等価な結晶面、 $(11 - 22)$  面に等価な結晶面および  $(20 - 21)$  面に等価な結晶面のうちのいずれかを含んでいてもよい。

40

## 【 0 0 7 4 】

V ピット 4 3 は、ベース V ピット 4 5、ミドル V ピット 4 6 およびトップ V ピット 4 7 を含む。ベース V ピット 4 5 は、V ピット 4 3 の導入起点となる。ベース V ピット 4 5 は、この形態では、バッファ M Q W 構造 3 3 に形成されている。ベース V ピット 4 5 は、より具体的には、バッファ井戸層 3 9 を起点にしてバッファ障壁層 4 0 に形成されている。

ミドル V ピット 4 6 は、ベース V ピット 4 5 を起点に第 2 井戸層 3 6 および第 2 障壁層

50

37に形成されている。第2井戸層36および第2障壁層37は、バッファ障壁層40の主面およびベースVピット45の傾斜ファセット面に倣って膜状に結晶成長されている。これにより、ミドルVピット46が、ベースVピット45を起点に第2井戸層36および第2障壁層37に形成される。

【0075】

トップVピット47は、Vピット43の傾斜ファセット面44A~44Fを形成する。トップVピット47は、第2MQW構造32の最上障壁層38に形成されている。最上障壁層38は、第2井戸層36の主面およびミドルVピット46の傾斜ファセット面に倣って膜状に結晶成長されている。これにより、トップVピット47が、ミドルVピット46を起点に最上障壁層38に形成される。

10

【0076】

図2および図3を再度参照して、p型半導体層24は、発光層23の上に形成されている。p型半導体層24は、より具体的には、複数のリセス41を埋めて第2MQW構造32の主面42を被覆している。p型半導体層24は、複数のリセス41の内外の領域から第2MQW構造32に正孔を供給する。

つまり、p型半導体層24は、第2MQW構造32の主面42、および、Vピット43の傾斜ファセット面44A~44Fから第2MQW構造32に正孔を供給する。p型半導体層24は、この形態では、p型クラッド層48およびp型コンタクト層49を含む積層構造を有している。

【0077】

p型クラッド層48は、第2MQW構造32の主面42の上に形成されている。p型クラッド層48は、より具体的には、複数のリセス41を埋めて第2MQW構造32の主面42を被覆している。p型クラッド層48は、平坦な主面を有している。p型クラッド層48は、複数のリセス41の内外の領域から第2MQW構造32に正孔を供給する。つまり、p型クラッド層48は、第2MQW構造32の主面42、および、Vピット43の傾斜ファセット面44A~44Fから第2MQW構造32に正孔を供給する。

20

【0078】

p型クラッド層48は、この形態では、p型不純物が添加されたGa<sub>0.9</sub>Nを含む。p型クラッド層48は、p型不純物の一例としてのマグネシウムを含んでいてもよい。p型クラッド層48のp型不純物濃度は、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。p型クラッド層48のp型不純物濃度は、この形態では、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

30

【0079】

p型クラッド層48の厚さは、10nm以上50nm以下であってもよい。p型クラッド層48の厚さは、10nm以上20nm以下、20nm以上30nm以下、30nm以上40nm以下、または、40nm以上50nm以下であってもよい。p型クラッド層48の厚さは、この形態では、30nm程度である。

p型コンタクト層49は、p型クラッド層48の上に形成されている。p型コンタクト層49は、この形態では、p型不純物が添加されたGa<sub>0.9</sub>Nを含む。p型コンタクト層49は、p型不純物の一例としてのマグネシウムを含んでいてもよい。p型コンタクト層49のp型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。p型コンタクト層49のp型不純物濃度は、この形態では、 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。

40

【0080】

p型コンタクト層49の厚さは、50nm以上500nm以下であってもよい。p型クラッド層48の厚さは、50nm以上100nm以下、100nm以上150nm以下、150nm以上200nm以下、200nm以上250nm以下、250nm以上300nm以下、300nm以上350nm以下、350nm以上400nm以下、400nm以上450nm以下、または、450nm以上500nm以下であってもよい。p型クラッド層48の厚さは、この形態では、200nm程度である。

50

## 【 0 0 8 1 】

図 9 は、ドミナント波長  $W L$ （発光波長）および順方向電流  $I F$  の関係を実測によって求めたグラフである。図 9 において、縦軸は半導体発光層 7 から取り出されるドミナント波長  $W L$  [ nm ] を示し、横軸は順方向電流  $I F$  [ mA ] を示している。

図 9 には、第 1 特性  $S 1$ （破線参照）および第 2 特性  $S 2$ （実線参照）が示されている。第 1 特性  $S 1$  は、参考例に係る発光層 2 3 の特性を示している。第 2 特性  $S 2$  は、この形態に係る発光層 2 3 の特性を示している。参考例に係る発光層 2 3 では、第 2 MQW 構造 3 2 において第 2 井戸層 3 6 の厚さ  $T W 2$  が 2 nm 以上に設定されている。

## 【 0 0 8 2 】

第 1 特性  $S 1$  を参照して、参考例に係る発光層 2 3 では、順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたとき、ドミナント波長  $W L$  が 507 nm から 500 nm まで変動した。参考例に係る発光層 2 3 では、順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたときのドミナント波長  $W L$  の最大変化量  $W L$  が 5 nm を超えていた。最大変化量  $W L$  は、絶対値である（以下、同じ。）。

10

## 【 0 0 8 3 】

参考例に係る発光層 2 3 では、順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたときのドミナント波長  $W L$  の変化率が 1 % を超えている。ドミナント波長  $W L$  の変化率は、より具体的には、1.3 % を超えている。

順方向電流  $I F$  の増加は、発光層 2 3 に供給される正孔の増加を意味する。参考例に係る発光層 2 3 では、第 2 MQW 構造 3 2 およびバッファ MQW 構造 3 3 によっては、第 1 MQW 構造 3 1 に到達する正孔を十分に低減させることができない。そのため、順方向電流  $I F$  の増加に伴って、ドミナント波長  $W L$  が青緑色領域から青色領域側に大きくシフトした。

20

## 【 0 0 8 4 】

480 nm 以上 550 nm 以下（より具体的には 480 nm 以上 510 nm 以下）の青緑色領域の光は、色の識別性に優れているため、カラーバリアフリーへの応用もなされる。したがって、青緑色領域から青色領域側へのドミナント波長  $W L$  の変化は、色の識別性の低下を意味し、カラーバリアフリーの観点から好ましいとは言えない。

一方、第 2 特性  $S 2$  を参照して、この形態に係る発光層 2 3 では、順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたとき、ドミナント波長  $W L$  が 506 nm から 504 nm まで変動した。この形態に係る発光層 2 3 では、順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたときのドミナント波長  $W L$  の最大変化量  $W L$  が 0 nm を超えて 5 nm 未満（より具体的には 3 nm 未満）となった。

30

## 【 0 0 8 5 】

また、この形態に係る発光層 2 3 では、順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたときのドミナント波長  $W L$  の変化率が、1 % 以下であった。ドミナント波長  $W L$  の変化率は、より具体的には、0.5 % 未満であった。

換言すると、この形態に係る発光層 2 3 では、第 2 井戸層 3 6 が n 型半導体層 2 2 および p 型半導体層 2 4 の間を流れる順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたときのドミナント波長  $W L$  の最大変化量  $W L$  が 5 nm 未満（より具体的には 3 nm 未満）となる厚さを有している。

40

## 【 0 0 8 6 】

また、第 2 井戸層 3 6 は、n 型半導体層 2 2 および p 型半導体層 2 4 の間を流れる順方向電流  $I F$  を 0 mA から 200 mA に変化させたときのドミナント波長  $W L$  の変化率が 1 % 以下となる厚さを有している。

図 10 は、ドミナント波長  $W L$  の最大変化量  $W L$  および第 2 障壁層 3 7 の厚さ  $T B 2$  の関係を実測によって求めたグラフである。図 10 において、縦軸は半導体発光層 7 から取り出される光のドミナント波長  $W L$  の最大変化量  $W L$  [ nm ] を示し、横軸は第 2 障壁層 3 7 の厚さ  $T B 2$  [ nm ] を示している。

## 【 0 0 8 7 】

50

図10には、第1プロット点P1、第2プロット点P2および第3プロット点P3が示されている。第1プロット点P1は、第2障壁層37の厚さTB2を10nmに設定し、順方向電流IFを5mAから20mAまで変化させた場合の最大変化量WLを示している。

第2プロット点P2は、第2障壁層37の厚さTB2を7nmに設定し、順方向電流IFを5mAから20mAまで変化させた場合の最大変化量WLを示している。第3プロット点P3は、第2障壁層37の厚さTB2を4.5nmに設定し、順方向電流IFを5mAから20mAまで変化させた場合の最大変化量WLを示している。

【0088】

第1プロット点P1を参照して、厚さTB2を10nmに設定した場合、最大変化量WLは6.6nmであった。第2プロット点P2を参照して、厚さTB2を6nmに設定した場合、最大変化量WLは6.3nmであった。第3プロット点P3を参照して、厚さTB2を4.5nmに設定した場合、最大変化量WLは5.3nmであった。

このように、第2障壁層37の厚さTB2を小さくすることにより、最大変化量WLが減少した。第2障壁層37の機能を確保すると同時に、最大変化量WLの低減を図る場合、第2障壁層37の厚さTB2は、3nm以上6nm以下であることが好ましい。この場合、最大変化量WLを4nm以上6.5nm以下の範囲に抑えることができる。

【0089】

換言すると、第2障壁層37は、n型半導体層22およびp型半導体層24の間を流れる順方向電流IFを5mAから20mAに変化させたときのドミナント波長WLの最大変化量WLが6.5nm以下となる厚さTB2を有していることが好ましい。

図1～図3を再度参照して、半導体発光層7の半導体主面13には、高域部51、低域部52および接続部53が形成されている。高域部51、低域部52および接続部53は、半導体発光層7を切り欠いて形成されている。高域部51、低域部52および接続部53は、台地状のメサ構造54を形成している。

【0090】

高域部51は、半導体発光層7の厚さ方向（積層方向）に関して相対的に高所に位置している。高域部51は、p型半導体層24によって形成されている。高域部51は、より具体的には、p型コンタクト層49によって形成されている。高域部51は、この形態では、平面視において半導体側面14A～14Dから間隔を空けて、半導体発光層7の中央部に形成されている。

【0091】

高域部51は、平面視において半導体側面14A～14Dに沿って平行に延びる4つの辺を有している。高域部51の平面形状は任意であり、特定の形状に限定されない。高域部51は、平面視において多角形状、円形状、楕円形状等に形成されていてもよい。

低域部52は、半導体発光層7の厚さ方向（積層方向）に関して、高域部51に対して低所に位置している。低域部52は、n型半導体層22によって形成されている。低域部52は、より具体的には、n型コンタクト層29によって形成されている。低域部52は、平面視において高域部51の周囲に沿って帯状に延びている。低域部52は、この形態では、平面視において高域部51を取り囲む無端状（環状）に形成されている。

【0092】

接続部53は、高域部51および低域部52を接続している。接続部53は、n型半導体層22の一部（n型コンタクト層29）、発光層23およびp型半導体層24によって形成されている。接続部53は、平面視において半導体側面14A～14Dに沿って平行に延びる4つの辺を有している。接続部53は、法線方向Nに沿って平面的に延びている。接続部53は、高域部51から低域部52に向けて下り傾斜していてもよい。

【0093】

半導体主面13の上には、接続部53を被覆する絶縁層55が形成されている。絶縁層55は、酸化シリコン層もしくは窒化シリコン層、または、酸化シリコン層および窒化シリコン層を含む積層構造を含んでいてもよい。絶縁層55は、この形態では、窒化シリコ

10

20

30

40

50

ン層からなる単層構造を有している。

絶縁層 5 5 は、平面視において高域部 5 1 を取り囲んでいる。絶縁層 5 5 は、接続部 5 3 の全域を被覆している。絶縁層 5 5 は、高域部 5 1 および接続部 5 3 を接続するエッジ部を介して高域部 5 1 を被覆するオーラップ部を含む。絶縁層 5 5 は、低域部 5 2 および接続部 5 3 を接続するエッジ部を介して低域部 5 2 を被覆するオーラップ部を含む。

【 0 0 9 4 】

図 1 ~ 図 3 を参照して、半導体主面 1 3 の上には、n 側電極 6 1 が形成されている。n 側電極 6 1 は、低域部 5 2 に配置されている。n 側電極 6 1 は、低域部 5 2 において半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D のうちの少なくとも 1 つに沿う領域に形成されている。

n 側電極 6 1 は、この形態では、低域部 5 2 における第 1 半導体側面 1 4 A および第 4 半導体側面 1 4 D を接続する角部に沿う領域に配置されている。n 側電極 6 1 は、n 型半導体層 2 2 ( n 型コンタクト層 2 9 ) に電氣的に接続されている。

【 0 0 9 5 】

n 側電極 6 1 は、より具体的には、光透過電極 6 2 を含む。光透過電極 6 2 は、ITO (酸化インジウムスズ) 層を含む。光透過電極 6 2 は、この形態では、ITO 層からなる単層構造を有している。光透過電極 6 2 は、半導体主面 1 3 ( 低域部 5 2 ) を被覆し、半導体発光層 7 で生成された光を透過させる。光透過電極 6 2 は、n 型半導体層 2 2 ( n 型コンタクト層 2 9 ) の上に形成されている。光透過電極 6 2 は、n 型半導体層 2 2 ( n 型コンタクト層 2 9 ) に電氣的に接続されている。

【 0 0 9 6 】

光透過電極 6 2 は、平面視において第 1 面積  $S_{n1}$  を有している。光透過電極 6 2 は、法線方向 N に沿って複数の突出部 1 2 に対向している。また、光透過電極 6 2 は、法線方向 N に沿ってバッファ層 2 1 に形成された複数の空孔 2 5 に対向している。

光透過電極 6 2 は、この形態では、本体部 6 3 および配線部 6 4 を含む。本体部 6 3 は、この形態では、平面視において円形状に形成されている。本体部 6 3 の平面形状は任意であり、特定の形状に限定されない。本体部 6 3 は、平面視において多角形状に形成されていてもよいし、楕円形状に形成されていてもよい。

【 0 0 9 7 】

配線部 6 4 は、本体部 6 3 から帯状に引き出された部分である。配線部 6 4 は、この形態では、本体部 6 3 から低域部 5 2 における第 1 半導体側面 1 4 A に沿う領域に引き出されている。配線部 6 4 は、平面視において高域部 5 1 を 2 方向、3 方向または 4 方向から区画するように半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D のうちの 2 つ、3 つまたは 4 つに沿って形成されていてもよい。

【 0 0 9 8 】

光透過電極 6 2 の厚さは、10 nm 以上 500 nm 以下であってもよい。光透過電極 6 2 の厚さは、10 nm 以上 100 nm 以下、100 nm 以上 200 nm 以下、200 nm 以上 300 nm 以下、300 nm 以上 400 nm 以下、または、400 nm 以上 500 nm 以下であってもよい。光透過電極 6 2 の厚さは、この形態では、50 nm 以上 150 nm 以下である。

【 0 0 9 9 】

n 側電極 6 1 は、光透過電極 6 2 の上に形成された端子電極 6 5 を含む。端子電極 6 5 は、平面視において光透過電極 6 2 の第 1 面積  $S_{n1}$  未満の第 2 面積  $S_{n2}$  ( $S_{n2} < S_{n1}$ ) を有している。端子電極 6 5 は、光透過電極 6 2 の周縁から内方に間隔を空けて形成されている。

端子電極 6 5 の全域は、平面視において、光透過電極 6 2 に重なっている。端子電極 6 5 は、法線方向 N に沿って複数の突出部 1 2 に対向している。また、端子電極 6 5 は、法線方向 N に沿ってバッファ層 2 1 に形成された複数の空孔 2 5 に対向している。

【 0 1 0 0 】

端子電極 6 5 は、本体部 6 6 および配線部 6 7 を含む。本体部 6 6 は、ボンディングワイヤ等の導電性接合部材が接続される部分である。本体部 6 6 は、光透過電極 6 2 の本体

10

20

30

40

50

部 6 3 の上に配置されている。本体部 6 6 は、この形態では、平面視において円形状に形成されている。本体部 6 6 の平面形状は任意であり、特定の形状に限定されない。本体部 6 6 は、平面視において多角形状に形成されていてもよいし、楕円形状に形成されていてもよい。

【 0 1 0 1 】

配線部 6 7 は、本体部 6 6 から帯状に引き出された部分である。配線部 6 7 は、光透過電極 6 2 の配線部 6 4 の上に配置されている。配線部 6 7 の引き出し態様を調整することにより、半導体発光装置 1 の順方向電圧  $V_F$  等が調節される。

配線部 6 7 は、本体部 6 6 から低域部 5 2 における第 1 半導体側面 1 4 A に沿う領域に引き出されている。配線部 6 7 は、平面視において高域部 5 1 を 2 方向、3 方向または 4 方向から区画するように半導体側面 1 4 A ~ 1 4 D のうちの 2 つ、3 つまたは 4 つに沿って形成されていてもよい。

10

【 0 1 0 2 】

端子電極 6 5 は、断面視において頂部 6 8、基部 6 9、および、頂部 6 8 から基部 6 9 に向けて下り傾斜した側壁 7 0 を有する台形状に形成されている。端子電極 6 5 は、頂部 6 8 および側壁 7 0 を接続するエッジ部において外側に張り出した膨出部 7 1 を有している。

膨出部 7 1 は、法線方向  $N$  および頂部 6 8 に沿う方向に向かって張り出している。膨出部 7 1 は、平面視において頂部 6 8 の周縁に沿って延びる環状に形成されている。膨出部 7 1 は、本体部 6 6 においてボンディングワイヤ等の導電性接合部材が接続される領域を画定している。

20

【 0 1 0 3 】

端子電極 6 5 は、この形態では、光透過電極 6 2 側からこの順に積層された  $Al$  電極 7 2、 $Ti$  電極 7 3 および  $Au$  電極 7 4 を含む積層構造を有している。

$Al$  電極 7 2 は、 $Al$  (アルミニウム) を含む。 $Al$  電極 7 2 は、純  $Al$  または  $Al$  合金からなる。 $Al$  合金は、 $AlCu$  合金、 $AlSi$  合金、 $AlSiCu$  合金等であってもよい。 $Al$  電極 7 2 は、この形態では、純  $Al$  からなる。

【 0 1 0 4 】

$Al$  電極 7 2 は、半導体発光層 7 で生成された光を反射させる光反射電極として形成されている。 $Al$  電極 7 2 は、断面視において台形状に形成されている。 $Al$  電極 7 2 の側壁は、第 1 傾斜角  $n_1$  を有している。第 1 傾斜角  $n_1$  は、 $Al$  電極 7 2 の側壁が半導体主面 1 3 を基準にして  $Al$  電極 7 2 内で成す角度である。

30

$Al$  電極 7 2 の厚さは、 $100\text{ nm}$  以上  $1500\text{ nm}$  以下であってもよい。 $Al$  電極 7 2 の厚さは、 $100\text{ nm}$  以上  $250\text{ nm}$  以下、 $250\text{ nm}$  以上  $500\text{ nm}$  以下、 $500\text{ nm}$  以上  $750\text{ nm}$  以下、 $750\text{ nm}$  以上  $1000\text{ nm}$  以下、 $1000\text{ nm}$  以上  $1250\text{ nm}$  以下、または、 $1250\text{ nm}$  以上  $1500\text{ nm}$  以下であってもよい。 $Al$  電極 7 2 の厚さは、この形態では、 $250\text{ nm}$  以上  $350\text{ nm}$  以下である。 $Al$  電極 7 2 を厚くするほど、光の反射率を高めることができる。

【 0 1 0 5 】

$Ti$  電極 7 3 は、 $Ti$  (チタン) を含む。 $Ti$  電極 7 3 は、 $Al$  電極 7 2 に対する  $Au$  電極 7 4 の密着力を高める接着層として形成されている。 $Ti$  電極 7 3 は、 $Al$  電極 7 2 のほぼ全域を被覆している。 $Ti$  電極 7 3 は、断面視において台形状に形成されている。 $Ti$  電極 7 3 の側壁は、 $Al$  電極 7 2 の側壁を被覆している。

40

$Ti$  電極 7 3 の側壁は、 $Al$  電極 7 2 の第 1 傾斜角  $n_1$  を超える第 2 傾斜角  $n_2$  ( $n_1 < n_2$ ) を有している。第 2 傾斜角  $n_2$  は、 $Ti$  電極 7 3 の側壁が半導体主面 1 3 を基準にして  $Ti$  電極 7 3 内で成す角度である。

【 0 1 0 6 】

$Ti$  電極 7 3 の厚さは、 $100\text{ nm}$  以上  $500\text{ nm}$  以下であってもよい。 $Ti$  電極 7 3 の厚さは、 $100\text{ nm}$  以上  $200\text{ nm}$  以下、 $200\text{ nm}$  以上  $300\text{ nm}$  以下、 $300\text{ nm}$  以上  $400\text{ nm}$  以下、または、 $400\text{ nm}$  以上  $500\text{ nm}$  以下であってもよい。 $Ti$  電極

50

73の厚さは、この形態では、150nm以上250nm以下である。

Au電極74は、Au(金)を含む。Au電極74は、Ti電極73のほぼ全域を被覆している。Au電極74は、断面視において台形状に形成されている。Au電極74は、端子電極65の外面を形成している。Au電極74の側壁は、Ti電極73の側壁を被覆している。

【0107】

Au電極74の側壁は、Ti電極73の第2傾斜角  $n_2$  を超える第3傾斜角  $n_3$  ( $n_1 < n_2 < n_3$ ) を有している。第3傾斜角  $n_3$  は、Au電極74の側壁が半導体主面13を基準にしてAu電極74内で成す角度である。

Au電極74の厚さは、1 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下であってもよい。Au電極74の厚さは、1 $\mu$ m以上2 $\mu$ m以下、2 $\mu$ m以上3 $\mu$ m以下、3 $\mu$ m以上4 $\mu$ m以下、または、4 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下であってもよい。Au電極74の厚さは、この形態では、1.5 $\mu$ m以上2.5 $\mu$ m以下である。

10

【0108】

図2および図7を参照して、n側電極61は、光透過電極62および端子電極65(A1電極72)の間の領域に介在するバリア電極75を含む。バリア電極75は、A1電極72のA1に起因して光透過電極62で生じるガルバニック腐食を抑制する保護電極として形成されている。これにより、ガルバニック腐食に起因する光取り出し効率の低下を抑制できる。よって、第2MQW構造32からの光を適切に取り出すことができる。

【0109】

バリア電極75は、TiN層およびCr層のうちの少なくとも一方を含む。バリア電極75は、TiN層またはCr層からなる単層構造を有していることが好ましい。Cr層は、TiN層に比べて小さい光透過率を有している。したがって、バリア電極75は、比較的大きい光透過率を有するTiN層からなることが好ましい。

バリア電極75の厚さは、光透過電極62の厚さ未満である。バリア電極75の厚さは、A1電極72の厚さ未満である。バリア電極75の厚さは、1nm以上5nm以下であってもよい。バリア電極75の厚さは、1nm以上2nm以下、2nm以上3nm以下、3nm以上4nm以下、または、4nm以上5nm以下であってもよい。バリア電極75の厚さは、この形態では、1.5nm以上2.5nm以下である。

20

【0110】

バリア電極75は、平面視において光透過電極62において端子電極65が対向する領域の全域に形成されている。つまり、バリア電極75は、本体部76および配線部77を含む。バリア電極75の本体部76は、光透過電極62の本体部63および端子電極65の本体部66の間の領域に介在している。バリア電極75の配線部77は、光透過電極62の配線部64および端子電極65の配線部67の間の領域に介在している。

30

【0111】

バリア電極75の周縁は、平面視において端子電極65の周縁に対して端子電極65の内方に位置していてもよい。バリア電極75の周縁は、端子電極65の周縁に対して面に形成されていてもよい。バリア電極75の周縁は、平面視において端子電極65の周縁に対して端子電極65の外側に位置していてもよい。つまり、バリア電極75は、平面視において端子電極65外の領域に引き出されていてもよい。

40

【0112】

バリア電極75は、法線方向Nに沿って複数の突出部12に対向している。また、バリア電極75は、法線方向Nに沿ってバッファ層21に形成された複数の空孔25に対向している。

図1～図3を参照して、半導体主面13の上には、p側電極81が形成されている。p側電極81は、高域部51に配置されている。p側電極81は、p型半導体層24(p型コンタクト層49)に電氣的に接続されている。

【0113】

p側電極81は、より具体的には、光透過電極82を含む。光透過電極82は、ITO

50

(酸化インジウムスズ)層を含む。光透過電極 8 2 は、この形態では、ITO 層からなる単層構造を有している。光透過電極 8 2 は、半導体主面 1 3 (高域部 5 1) を被覆し、半導体発光層 7 で生成された光を透過させる。光透過電極 8 2 は、p 型半導体層 2 4 (p 型コンタクト層 4 9) の上に形成されている。光透過電極 8 2 は、p 型半導体層 2 4 (p 型コンタクト層 4 9) に電氣的に接続されている。

【0114】

光透過電極 8 2 は、高域部 5 1 の周縁から間隔を空けて高域部 5 1 の内方領域を被覆している。光透過電極 8 2 の周縁は、高域部 5 1 の周縁に沿って延びている。光透過電極 8 2 は、平面視において第 1 面積  $S_{p1}$  を有している。光透過電極 8 2 は、法線方向 N に沿って複数の突出部 1 2 に対向している。また、光透過電極 8 2 は、法線方向 N に沿ってバッファ層 2 1 に形成された複数の空孔 2 5 に対向している。

10

【0115】

光透過電極 8 2 の厚さは、10 nm 以上 500 nm 以下であってもよい。光透過電極 8 2 の厚さは、10 nm 以上 100 nm 以下、100 nm 以上 200 nm 以下、200 nm 以上 300 nm 以下、300 nm 以上 400 nm 以下、または、400 nm 以上 500 nm 以下であってもよい。

光透過電極 8 2 の厚さは、この形態では、50 nm 以上 150 nm 以下である。光透過電極 8 2 の厚さは、n 側電極 6 1 の光透過電極 6 2 の厚さと等しいことが好ましい。光透過電極 8 2 の厚さが光透過電極 6 2 の厚さと等しいとは、光透過電極 8 2 の厚さが光透過電極 6 2 の厚さと等しくなる条件下で光透過電極 8 2 が形成されていることを意味する。光透過電極 8 2 の厚さには、光透過電極 6 2 の厚さの  $\pm 10\%$  程度の誤差が生じていてもよい。

20

【0116】

p 側電極 8 1 は、光透過電極 8 2 の上に形成された端子電極 8 5 を含む。端子電極 8 5 は、平面視において光透過電極 8 2 の第 1 面積  $S_{p1}$  未満の第 2 面積  $S_{p2}$  ( $S_{p2} < S_{p1}$ ) を有している。端子電極 8 5 は、光透過電極 8 2 の周縁から内方に間隔を空けて形成されている。

端子電極 8 5 は、平面視において光透過電極 8 2 の露出部の面積が光透過電極 8 2 の隠蔽部の面積以上となる態様で、光透過電極 8 2 の上に形成されている。これにより、端子電極 8 5 の全域は、平面視において、光透過電極 8 2 に重なっている。端子電極 8 5 は、法線方向 N に沿って複数の突出部 1 2 に対向している。また、端子電極 8 5 は、法線方向 N に沿ってバッファ層 2 1 に形成された複数の空孔 2 5 に対向している。

30

【0117】

端子電極 8 5 は、本体部 8 6 および配線部 8 7 を含む。本体部 8 6 は、ボンディングワイヤ等の導電性接合部材が接続される部分である。本体部 8 6 は、この形態では、平面視において円形状に形成されている。本体部 8 6 の平面形状は任意であり、特定の形状に限定されない。本体部 8 6 は、平面視において多角形状に形成されていてもよいし、楕円形状に形成されていてもよい。

【0118】

配線部 8 7 は、本体部 8 6 から帯状に引き出された部分である。配線部 8 7 の引き出し態様を調整することにより、半導体発光装置 1 の順方向電圧  $V_F$  等が調節される。配線部 8 7 は、この形態では、本体部 8 6 において n 側電極 6 1 に対向する部分から引き出されている。

40

配線部 8 7 は、この形態では、平面視において本体部 8 6 から離れる方向に湾曲した円弧状に形成され、本体部 8 6 に外接されている。配線部 8 7 は、より具体的には、異なる曲率半径を有する複数の部分を含む。複数の部分は、第 1 配線部 8 7 a および第 2 配線部 8 7 b を含む。

【0119】

第 1 配線部 8 7 a は、平面視において n 側電極 6 1 (端子電極 6 5) の本体部 6 6 を中心とする円弧状に延び、本体部 8 6 に外接されている。第 2 配線部 8 7 b は、平面視にお

50

いてn側電極61(端子電極65)の配線部67の先端部を中心とする円弧状に延び、第1配線部87aに接続されている。

端子電極85は、断面視において頂部88、基部89、および、頂部88から基部89に向けて下り傾斜した側壁90を有する台形状に形成されている。端子電極85は、頂部88および側壁90を接続するエッジ部において膨出部91を有している。

【0120】

膨出部91は、法線方向Nおよび頂部88に沿う方向に向かって張り出している。膨出部91は、平面視において頂部88の周縁に沿って延びる環状に形成されている。膨出部91は、本体部86においてボンディングワイヤ等の導電性接合部材が接続される領域を画定している。

端子電極85は、この形態では、光透過電極82側からこの順に積層されたAl電極92、Ti電極93およびAu電極94を含む積層構造を有している。

【0121】

Al電極92は、Al(アルミニウム)を含む。Al電極92は、純AlまたはAl合金からなってもよい。Al合金は、AlCu合金、AlSi合金、AlSiCu合金等であってもよい。Al電極92は、n側電極61のAl電極72と同一の電極材料からなることが好ましい。Al電極92は、この形態では、純Alからなる。

Al電極92は、半導体発光層7で生成された光を反射させる光反射電極として形成されている。Al電極92は、断面視において台形状に形成されている。Al電極92の側壁は、第1傾斜角 $p_1$ を有している。第1傾斜角 $p_1$ は、Al電極92の側壁が半導体主面13を基準にしてAl電極92内で成す角度である。

【0122】

Al電極92の厚さは、100nm以上1500nm以下であってもよい。Al電極92の厚さは、100nm以上250nm以下、250nm以上500nm以下、500nm以上750nm以下、750nm以上1000nm以下、1000nm以上1250nm以下、または、1250nm以上1500nm以下であってもよい。

Al電極92の厚さは、この形態では、250nm以上350nm以下である。Al電極92を厚くするほど、光の反射率を高めることができる。Al電極92の厚さは、n側電極61のAl電極72の厚さと等しいことが好ましい。Al電極92の厚さがAl電極72の厚さと等しいとは、Al電極92の厚さがAl電極72の厚さと等しくなる条件下でAl電極92が形成されていることを意味する。Al電極92の厚さには、Al電極72の厚さの $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じていてもよい。

【0123】

Ti電極93は、Ti(チタン)を含む。Ti電極93は、Al電極92に対するAu電極94の密着力を高める接着層として形成されている。Ti電極93は、Al電極92のほぼ全域を被覆している。Ti電極93は、断面視において台形状に形成されている。Ti電極93の側壁は、Al電極92の側壁を被覆している。

Ti電極93の側壁は、Al電極92の第1傾斜角 $p_1$ を超える第2傾斜角 $p_2$ ( $p_1 < p_2$ )を有している。第2傾斜角 $p_2$ は、Ti電極93の側壁が半導体主面13を基準にしてTi電極93内で成す角度である。

【0124】

Ti電極93の厚さは、100nm以上500nm以下であってもよい。Ti電極93の厚さは、100nm以上200nm以下、200nm以上300nm以下、300nm以上400nm以下、または、400nm以上500nm以下であってもよい。

Ti電極93の厚さは、この形態では、150nm以上250nm以下である。Al電極92の厚さは、n側電極61のTi電極73の厚さと等しいことが好ましい。Ti電極93の厚さがTi電極73の厚さと等しいとは、Ti電極93の厚さがTi電極73の厚さと等しくなる条件下でTi電極93が形成されていることを意味する。Ti電極93の厚さには、Ti電極73の厚さの $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じていてもよい。

【0125】

10

20

30

40

50

Au電極94は、Au(金)を含む。Au電極94は、Ti電極93のほぼ全域を被覆している。Au電極94は、断面視において台形状に形成されている。Au電極94は、端子電極85の外側を形成している。Au電極94の側壁は、Ti電極93の側壁を被覆している。

Au電極94の側壁は、Ti電極93の第2傾斜角  $p_2$  を超える第3傾斜角  $p_3$  ( $p_1 < p_2 < p_3$ ) を有している。第3傾斜角  $p_3$  は、Au電極94の側壁が半導体主面13を基準にしてAu電極94内で成す角度である。

【0126】

Au電極94の厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。Au電極94の厚さは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下、 $2\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、 $3\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、または、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

10

Au電極94の厚さは、この形態では、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下である。Au電極94の厚さは、n側電極61のAu電極74の厚さと等しいことが好ましい。Au電極94の厚さがAu電極74の厚さと等しいとは、Au電極94の厚さがAu電極74の厚さと等しくなる条件下でAu電極94が形成されていることを意味する。Au電極94の厚さには、Au電極74の厚さの $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じていてもよい。

【0127】

図3および図8を参照して、p側電極81は、光透過電極82および端子電極85(A1電極92)の間の領域に介在するバリア電極95を含む。バリア電極95は、A1電極92のA1に起因して光透過電極82で生じるガルバニック腐食を抑制する保護電極として形成されている。これにより、ガルバニック腐食に起因する光取り出し効率の低下を抑制できる。よって、第2MQW構造32からの光を適切に取り出すことができる。

20

【0128】

バリア電極95は、TiN層およびCr層のうちの少なくとも一方を含む。バリア電極95は、TiN層またはCr層からなる単層構造を有していることが好ましい。Cr層は、TiN層に比べて小さい光透過率を有している。したがって、バリア電極95は、比較的大きい光透過率を有するTiN層からなることが好ましい。

バリア電極95の厚さは、光透過電極82の厚さ未満である。バリア電極95の厚さは、A1電極92の厚さ未満である。バリア電極95の厚さは、 $1\ \text{nm}$ 以上 $5\ \text{nm}$ 以下であってもよい。バリア電極95の厚さは、 $1\ \text{nm}$ 以上 $2\ \text{nm}$ 以下、 $2\ \text{nm}$ 以上 $3\ \text{nm}$ 以下、 $3\ \text{nm}$ 以上 $4\ \text{nm}$ 以下、または、 $4\ \text{nm}$ 以上 $5\ \text{nm}$ 以下であってもよい。

30

【0129】

バリア電極95の厚さは、この形態では、 $1.5\ \text{nm}$ 以上 $2.5\ \text{nm}$ 以下である。バリア電極95の厚さは、n側電極61のバリア電極75の厚さと等しいことが好ましい。バリア電極95の厚さがバリア電極75の厚さと等しいとは、バリア電極95の厚さがバリア電極75の厚さと等しくなる条件下でバリア電極95が形成されていることを意味する。バリア電極95の厚さには、バリア電極75の厚さの $\pm 10\%$ 程度の誤差が生じていてもよい。

【0130】

バリア電極95は、平面視において光透過電極82において端子電極85が対向する領域の全域に形成されている。つまり、バリア電極95は、本体部96および配線部97を含む。バリア電極95の本体部96は、光透過電極82および端子電極85の本体部86の間の領域に介在している。バリア電極95の配線部97は、光透過電極62および端子電極85の配線部87の間の領域に介在している。

40

【0131】

バリア電極95の周縁は、平面視において端子電極85の周縁に対して端子電極85の内方に位置していてもよい。バリア電極95の周縁は、端子電極85の周縁に対して面に形成されていてもよい。バリア電極95の周縁は、平面視において端子電極85の周縁に対して端子電極85の外側に位置していてもよい。つまり、バリア電極95は、平面視において端子電極85外の領域に引き出されていてもよい。

50

## 【0132】

バリア電極95は、法線方向Nに沿って複数の突出部12に対向している。また、バリア電極95は、法線方向Nに沿ってバッファ層21に形成された複数の空孔25に対向している。

以上、半導体発光装置1は、n型半導体層22、発光層23、p型半導体層24を含むダブルヘテロ構造を有している。発光層23は、不活性構造を有する第1MQW構造31および活性構造を有する第2MQW構造32を含む。これにより、第1MQW構造31における光の生成を抑制し、第2MQW構造32において光を生成させることができる。

## 【0133】

第1MQW構造31は、より具体的には、In組成比 $X$  ( $0 < X < 1$ )を有する $In_xGa_{(1-x)}N$ を含む第1井戸層34、および、n型不純物が添加されたGa<sub>0.99</sub>Nを含む第1障壁層35が交互に積層された積層構造を有している。積層方向に対を成す1つの第1井戸層34および1つの第1障壁層35は、第1総厚さ $T_1$ を有している。

一方、第2MQW構造32は、In組成比 $X$ を超えるIn組成比 $Y$  ( $X < Y < 1$ )を有する $In_yGa_{(1-y)}N$ を含む第2井戸層36、および、不純物無添加のGa<sub>0.99</sub>Nを含む第2障壁層37が交互に積層された積層構造を有している。積層方向に対を成す1つの第2井戸層36および1つの第2障壁層37は、第1総厚さ $T_1$ 未満の第2総厚さ $T_2$  ( $T_2 < T_1$ )を有している。

## 【0134】

これにより、第2MQW構造32に対する正孔の供給効率を高めることができると同時に第1MQW構造31に供給される正孔を減少させることができる。その結果、第1MQW構造31における光の生成を抑制し、第2MQW構造32において光を効率的に生成させることができる。よって、順方向電流 $I_F$ の変動に起因するドミナント波長 $WL$  (発光波長)の変動を抑制できる。

## 【0135】

第2井戸層36は、第1井戸層34の厚さ $TW_1$ 未満の厚さ $TW_2$  ( $TW_2 < TW_1$ )を有していることが好ましい。第2障壁層37は、第1障壁層35の厚さ $TB_1$ 未満の厚さ $TB_2$  ( $TW_2 < TB_1$ )を有していることが好ましい。

第1障壁層35は、第1井戸層34の厚さ $TW_1$ を超える厚さ $TB_1$  ( $TW_1 < TB_1$ )を有していることが好ましい。第2障壁層37は、第2井戸層36の厚さ $TW_2$ を超える厚さ $TB_2$  ( $TW_2 < TB_2$ )を有していることが好ましい。これらの構造は、順方向電流 $I_F$ の変動に起因するドミナント波長 $WL$ の変動を適切に抑制する上で有効である。

## 【0136】

この場合、第1井戸層34は、2nm以上4nm以下の厚さを有し、第2井戸層36は、1nm以上2nm未満の厚さを有していることが好ましい。第1障壁層35は、5nm以上20nm以下の厚さを有し、第2障壁層37は、3nm以上5nm未満の厚さを有していることが好ましい。

複数の第1井戸層34は、n型半導体層22から離れる方向にIn組成比 $X$ が漸増するように積層されていることが好ましい。これにより、インジウムに起因する格子サイズの変化を抑制できるから、第1MQW構造31内における応力を緩和できる。

## 【0137】

複数の第2井戸層36は、In組成比 $Y$ が一定となるように積層されていることが好ましい。これにより、複数の第2井戸層36におけるピーク発光波長のばらつきを抑制できるから、所望のドミナント波長 $WL$ を有する光を適切に取り出すことができる。

第2障壁層37は、第1MQW構造31に係る第1障壁層35のIn組成比 $X$ を超えるIn組成比 $Y$ を有している。したがって、第2MQW構造32がn型半導体層22の上に直接形成される場合、格子サイズの急激な変化に起因して応力が増加する。

## 【0138】

第2MQW構造32およびn型半導体層22の間に生じる応力は、第1MQW構造31によって緩和される。これにより、第2MQW構造32における格子欠陥の導入を適切に

10

20

30

40

50

抑制できる。その結果、第 2 MQW 構造 3 2 において所望のピーク発光波長を有する光を適切に生成できる。

また、半導体発光装置 1 は、第 1 MQW 構造 3 1 および第 2 MQW 構造 3 2 の間の領域に介在するバッファ MQW 構造 3 3 をさらに含む。バッファ MQW 構造 3 3 は、不活性構造を有している。バッファ MQW 構造 3 3 は、より具体的には、第 1 MQW 構造 3 1 の機能および第 2 MQW 構造 3 2 の機能の双方を有している。

#### 【0139】

バッファ MQW 構造 3 3 は、さらに具体的には、 $I_n$  組成比  $X$  を超える  $I_n$  組成比  $Z$  ( $X < Z - 1$ ) を有する  $I_{nz}Ga(1-z)N$  を含むバッファ井戸層 3 9、および、 $n$  型不純物が添加された  $GaN$  を含むバッファ障壁層 4 0 を含む積層構造を有している。積層方向 10 に対を成す 1 つのバッファ井戸層 3 9 および 1 つのバッファ障壁層 4 0 は、第 2 総厚さ  $T_2$  を超える第 3 総厚さ  $T_3$  ( $T_2 < T_3$ ) を有している。

#### 【0140】

バッファ井戸層 3 9 で生成される光は、微弱である。また、バッファ井戸層 3 9 のピーク発光波長は、第 2 井戸層 3 6 のピーク発光波長とほぼ等しい。したがって、バッファ井戸層 3 9 で生成される光は、半導体発光層 7 から取り出される光のドミナント波長  $WL$  (光色) に影響を与えない。

バッファ MQW 構造 3 3 によれば、第 1 MQW 構造 3 1 および第 2 MQW 構造 3 2 の間における格子サイズの急激な変化を抑制できる。また、バッファ MQW 構造 3 3 によれば、第 1 MQW 構造 3 1 における光の生成を適切に抑制できる。 20

#### 【0141】

この場合、バッファ井戸層 3 9 は、第 2 井戸層 3 6 の厚さ  $TW_2$  を超える厚さ  $TW_3$  を有していることが好ましい ( $TW_2 < TW_3$ )。また、バッファ障壁層 4 0 は、第 1 障壁層 3 5 の厚さ  $TB_1$  未満の厚さ  $TB_3$  を有していることが好ましい ( $TB_3 < TB_1$ )。

また、半導体発光装置 1 において、第 2 MQW 構造 3 2 は、第 1 MQW 構造 3 1 に向かって窪んだリセス 4 1 を含む。 $p$  型半導体層 2 4 は、リセス 4 1 を埋めて第 2 MQW 構造 3 2 を被覆し、リセス 4 1 の内外の領域において第 2 MQW 構造 3 2 に電気的に接続されている。これにより、第 2 MQW 構造 3 2 に正孔を効率的に供給できる。その結果、第 2 MQW 構造 3 2 において所望のピーク発光波長を有する光を適切に生成できる。

#### 【0142】

リセス 4 1 は、第 2 MQW 構造 3 2 の積層方向に関して、少なくとも 1 つの第 2 井戸層 3 6 を横切っていることが好ましい。リセス 4 1 は、第 2 MQW 構造 3 2 の積層方向に関して、全ての第 2 井戸層 3 6 を横切っていることがさらに好ましい。これらの構造によれば、第 2 井戸層 3 6 に対する正孔の供給効率を適切に高めることができる。 30

リセス 4 1 は、第 1 MQW 構造 3 1 に対して第 2 MQW 構造 3 2 側に形成されていることが好ましい。このような構造によれば、第 1 MQW 構造 3 1 に対する正孔の供給を抑制できると同時に、第 2 MQW 構造 3 2 に対する正孔の供給効率を高めることができる。よって、リセス 4 1 が形成された構造において順方向電流  $IF$  の変動に起因するドミナント波長  $WL$  の変動を適切に抑制できる。 40

#### 【0143】

また、半導体発光装置 1 によれば、基板 6 が六方晶基板からなり、六方晶の  $c$  面に対して  $m$  軸方向に  $0.1^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の角度で傾斜したオフ角を有する第 1 基板主面 8 を含む。半導体発光層 7 は、III 族窒化物半導体層からなり、第 1 基板主面 8 の上に形成されている。これにより、良質な結晶からなる半導体発光層 7 を形成できる。その結果、発光層 2 3 (より具体的には、第 2 MQW 構造 3 2) の発光効率を高めることができる。 40

#### 【0144】

図 1 1 は、図 5 に対応する領域の拡大図であって、本発明の第 2 実施形態に係る半導体発光装置 1 0 1 を部分的に示す拡大図である。以下では、半導体発光装置 1 に対して述べた構造に対応する構造については、同一の参照符号を付して説明を省略する。

図 1 1 を参照して、複数のリセス 4 1 は、この形態では、法線方向  $N$  に関して、第 2 M 50

QW構造32の深さ方向途中部まで深さで形成されている。つまり、複数のリセス41は、バッファMQW構造33に対して第2MQW構造32側に形成されている。複数のリセス41は、Vピット43によって形成されている。

【0145】

Vピット43のベースVピット45は、この形態では、第2MQW構造32に形成されている。ベースVピット45は、より具体的には、最下の第2井戸層36を起点にして最下の第2障壁層37に形成されている。

Vピット43のミドルVピット46は、ベースVピット45を起点に最上障壁層38の下方に位置する第2井戸層36および第2障壁層37に形成されている。第2井戸層36および第2障壁層37は、バッファ障壁層40の主面およびベースVピット45の傾斜ファセット面に倣って膜状に結晶成長されている。これにより、ミドルVピット46が、ベースVピット45を起点に第2井戸層36および第2障壁層37に形成される。

10

【0146】

Vピット43のトップVピット47は、第2MQW構造32の最上障壁層38によって形成されている。最上障壁層38は、第2井戸層36の主面およびミドルVピット46の傾斜ファセット面に倣って膜状に結晶成長されている。これにより、トップVピット47が、ミドルVピット46を起点に最上障壁層38に形成される。

以上、半導体発光装置101によっても、半導体発光装置1に対して述べた効果と同様の効果を奏することができる。また、半導体発光装置101によれば、複数のリセス41がバッファMQW構造33に対して第2MQW構造32側に形成されている。これにより、第1MQW構造31およびバッファMQW構造33における光の生成を適切に抑制できる。よって、順方向電流IFの変動に起因するドミナント波長WLの変動を適切に抑制できる。

20

【0147】

図12は、図5に対応する領域の拡大図であって、本発明の第3実施形態に係る半導体発光装置111を部分的に示す拡大図である。以下では、半導体発光装置1に対して述べた構造に対応する構造については、同一の参照符号を付して説明を省略する。

図12を参照して、複数のリセス41は、この形態では、法線方向Nに関して、第2MQW構造32およびバッファMQW構造33を横切って第1MQW構造31に至っている。複数のリセス41は、Vピット43によって形成されている。

30

【0148】

Vピット43のベースVピット45は、この形態では、第1MQW構造31の表層部に形成されている。ベースVピット45は、この形態では、最上の第1井戸層34を起点にして最上の第1障壁層35に形成されている。

Vピット43のベースVピット45は、最上の第1井戸層34から数えて2層下、3層下または4層下の第1井戸層34を起点に形成されていてもよい。ただし、正孔の注入面積を低減する観点から、ベースVピット45は、最上の第1井戸層34、または、最上の第1井戸層34から数えて2層下もしくは3層下の第1井戸層34を起点に形成されていることが好ましい。

【0149】

40

Vピット43のミドルVピット46は、ベースVピット45を起点に、バッファ井戸層39、バッファ障壁層40、第2井戸層36および第2障壁層37に形成されている。バッファ井戸層39、バッファ障壁層40、第2井戸層36および第2障壁層37は、それぞれ、最上の第1障壁層35の主面およびベースVピット45の傾斜ファセット面に倣って膜状に結晶成長されている。これにより、ミドルVピット46が、ベースVピット45を起点にバッファ井戸層39、バッファ障壁層40、第2井戸層36および第2障壁層37に形成される。

【0150】

トップVピット47は、第2MQW構造32の最上障壁層38によって形成されている。最上障壁層38は、第2井戸層36の主面およびミドルVピット46の傾斜ファセット

50

面に倣って膜状に結晶成長されている。これにより、トップVピット47が、ミドルVピット46を起点に最上障壁層38に形成される。

以上、半導体発光装置111によれば、半導体発光装置1に対して述べた効果と同様の効果を奏することができる。また、半導体発光装置111によれば、複数のリセス41は、第2MQW構造32およびバッファMQW構造33を横切って第1MQW構造31の表層部に至っている。

#### 【0151】

これにより、第2MQW構造32に対する正孔の供給効率を確実に高めることができる。ただし、半導体発光装置111では、第1MQW構造31およびバッファMQW構造33に供給される正孔が増加する点に留意しなければならない。

図13は、図3に対応する領域の断面図であって、本発明の第4実施形態に係る半導体発光装置121を示す断面図である。以下では、半導体発光装置1に対して述べた構造に対応する構造については、同一の参照符号を付して説明を省略する。

#### 【0152】

図13を参照して、半導体発光装置121に係るバッファ層21は、空孔25を有していない。以上、半導体発光装置121によれば、半導体発光装置1に対して述べた効果と同様の効果を奏することができる。第4実施形態に係るバッファ層21は、前述の第2実施形態および第3実施形態に係るバッファ層21に適用することもできる。

図14は、図3に対応する領域の断面図であって、本発明の第5実施形態に係る半導体発光装置131を示す断面図である。以下では、半導体発光装置1に対して述べた構造に対応する構造については、同一の参照符号を付して説明を省略する。

#### 【0153】

図14を参照して、半導体発光装置131に係る凹凸構造11は、この形態では、複数の突出部12に代えて、基板6の一部からなる複数の突出部132を含む。複数の突出部132は、エッチング法によって基板6の第1基板主面8を第2基板主面9に向けて選択的に掘り下げることによって形成されている。エッチング法は、ウエットエッチング法および/またはドライエッチング法であってもよい。

#### 【0154】

複数の突出部132は、錐台形状、ドーム形状または半球形状に形成されている。複数の突出部132は、錐台形状の一例として、円錐台形状または $n(n-3)$ 角錐台形状に形成されていてもよい。複数の突出部132は、互いに間隔を空けて第1基板主面8に形成されている。複数の突出部132は、平面視において行列状または千鳥状に形成されていてもよい。

#### 【0155】

以上、半導体発光装置131によれば、半導体発光装置1に対して述べた効果と同様の効果を奏することができる。第5実施形態に係る凹凸構造11は、前述の第2実施形態、第3実施形態および第4実施形態に係る凹凸構造11に適用することもできる。

本発明はさらに他の形態でも実施できる。

前述の各実施形態では、第2MQW構造32の主面42に複数のリセス41(Vピット43)が形成された例について説明した。しかし、複数のリセス41(Vピット43)を有さない第2MQW構造32が採用されてもよい。

#### 【0156】

前述の各実施形態では、 $n$ 側電極61に係る端子電極65が、本体部66および配線部67を含む例について説明した。しかし、配線部67を有さない端子電極65が採用されてもよい。この場合、バリア電極75の配線部77は除かれてもよい。

前述の各実施形態では、 $p$ 側電極81に係る端子電極85が、本体部86および配線部87を含む例について説明した。しかし、配線部87を有さない端子電極85が採用されてもよい。この場合、バリア電極95の配線部97は除かれてもよい。

#### 【0157】

前述の各実施形態では、 $n$ 側電極61に係る端子電極65が、Al電極72、Ti電極

10

20

30

40

50

73およびAu電極74を含む積層構造を有している例について説明した。しかし、端子電極65は、Al電極72からなる単層構造を有していてもよい。

前述の各実施形態において、Al電極72の上の構造は任意であり、必ずしもTi電極73およびAu電極74が積層されている必要はない。たとえば、Al電極72の上には、Ti電極73およびAu電極74に代えて、Pt（プラチナ）層や、W（タングステン）層が形成されていてもよい。

#### 【0158】

前述の各実施形態では、p側電極81に係る端子電極85が、Al電極92、Ti電極93およびAu電極94を含む積層構造を有している例について説明した。しかし、端子電極85は、Al電極92からなる単層構造を有していてもよい。

10

前述の各実施形態において、Al電極92の上の構造は任意であり、必ずしもTi電極93およびAu電極94が積層されている必要はない。たとえば、Al電極92の上には、Ti電極93およびAu電極94に代えて、Pt（プラチナ）層や、W（タングステン）層が形成されていてもよい。

#### 【0159】

前述の各実施形態では、第1基板主面8に凹凸構造11が形成された例について説明した。しかし、第1～第5実施形態において第1基板主面8に凹凸構造11を有さない形態が採用されてもよい。

前述の各実施形態において、各半導体部分の導電型が反転された構造が採用されてもよい。つまり、p型の部分がn型に形成され、n型の部分がp型に形成されてもよい。

20

#### 【0160】

この明細書は、第1～第5実施形態に示された特徴の如何なる組み合わせ形態をも制限しない。第1～第5実施形態は、それらの間で任意の態様および任意の形態において組み合わせられることができる。つまり、第1～第5実施形態に示された特徴が任意の態様および任意の形態で組み合わせられた半導体発光装置が採用されてもよい。

本発明の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本発明の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本発明はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本発明の範囲は添付の請求の範囲によってのみ限定される。

#### 【符号の説明】

#### 【0161】

- 1 半導体発光装置
- 22 n型半導体層
- 24 p型半導体層
- 31 第1MQW構造
- 32 第2MQW構造
- 33 バッファMQW構造
- 34 第1井戸層
- 35 第1障壁層
- 36 第2井戸層
- 37 第2障壁層
- 39 バッファ井戸層
- 40 バッファ障壁層
- 41 リセス
- 101 半導体発光装置
- 111 半導体発光装置
- 121 半導体発光装置
- 131 半導体発光装置
- T1 第1総厚さ
- T2 第2総厚さ
- T3 第3総厚さ

30

40

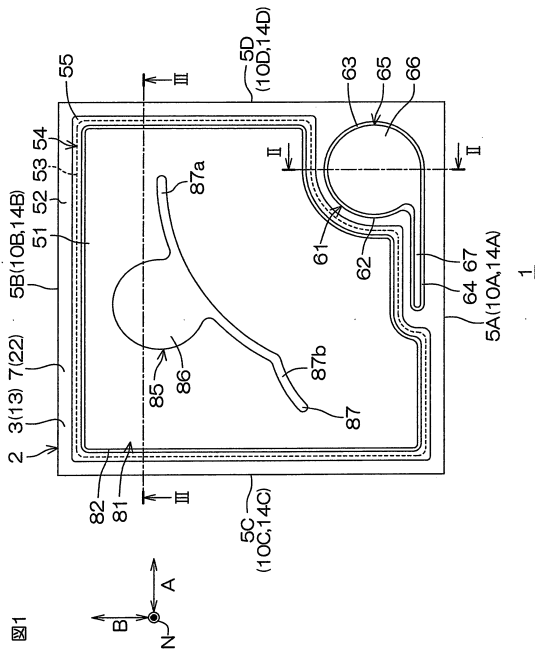
50

- T B 1 第1障壁層の厚さ
- T B 2 第2障壁層の厚さ
- T B 3 バッファ障壁層の厚さ
- T W 1 第1井戸層の厚さ
- T W 2 第2井戸層の厚さ
- T W 3 バッファ井戸層の厚さ
- W L ドミナント波長
- X I n組成比
- Y I n組成比
- Z I n組成比

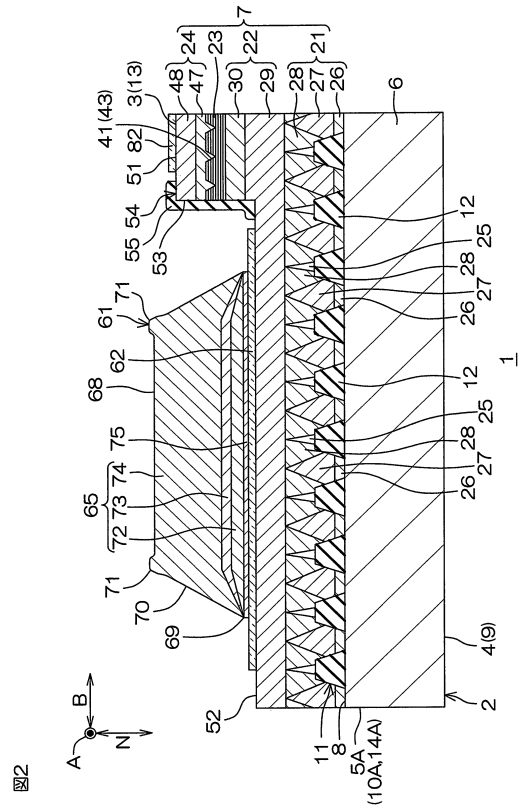
10

【図面】

【図1】



【図2】



20

30

40

50

【 図 3 】

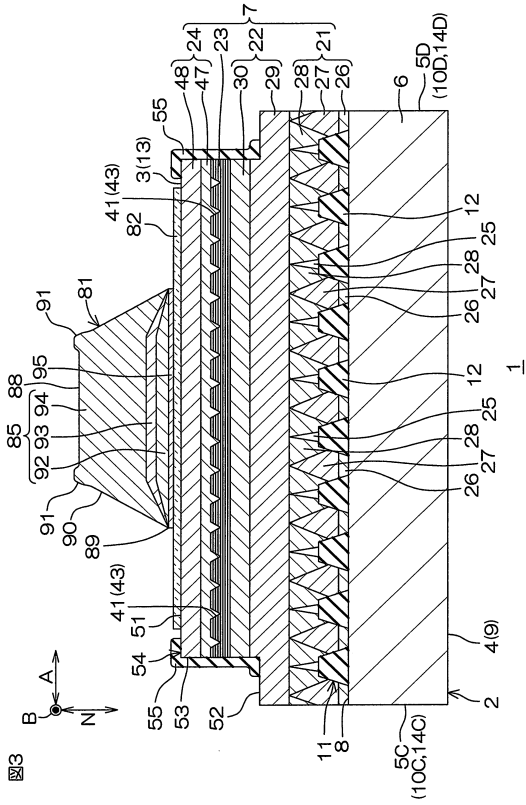


図3

【 図 4 】

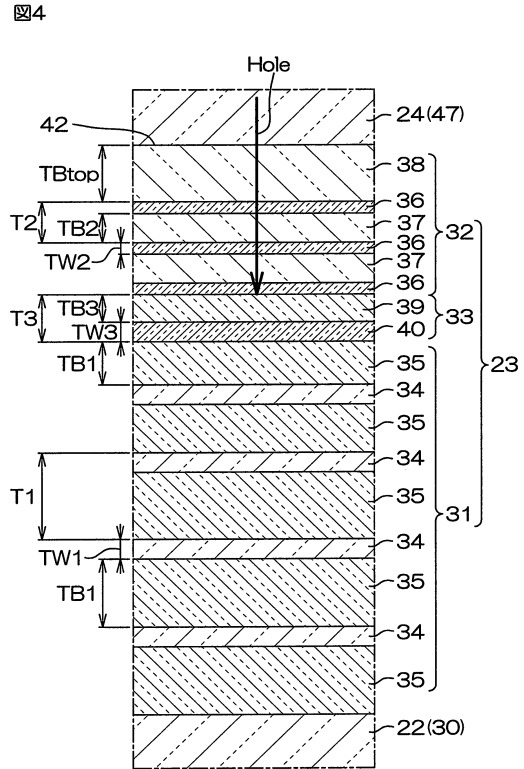


図4

10

20

【 図 5 】

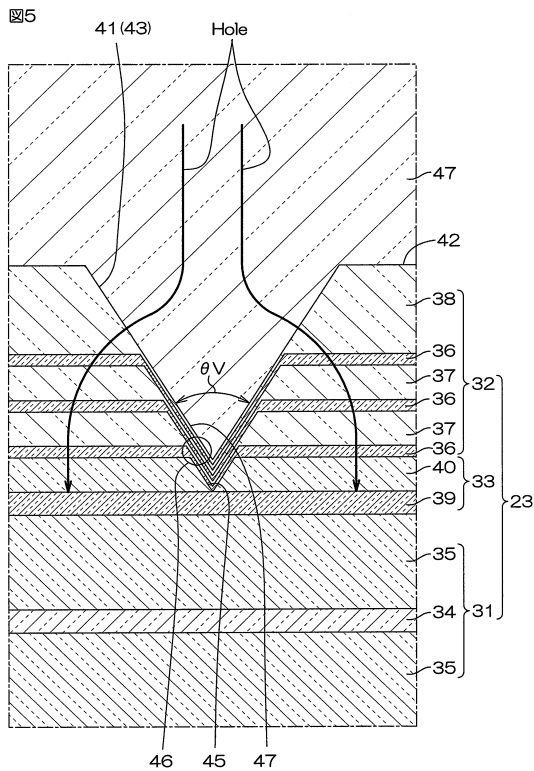


図5

【 図 6 】

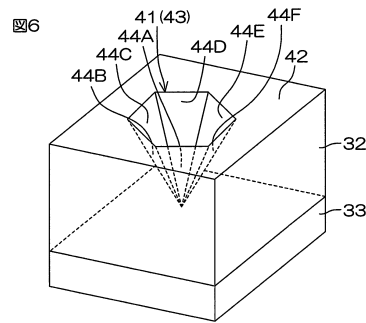


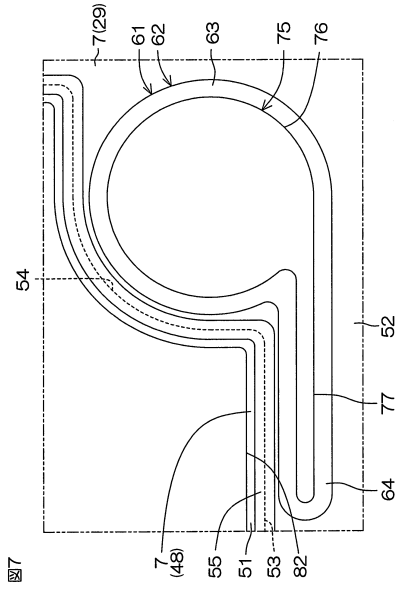
図6

30

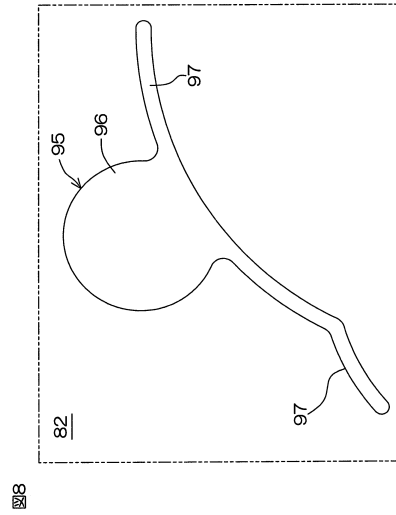
40

50

【 図 7 】

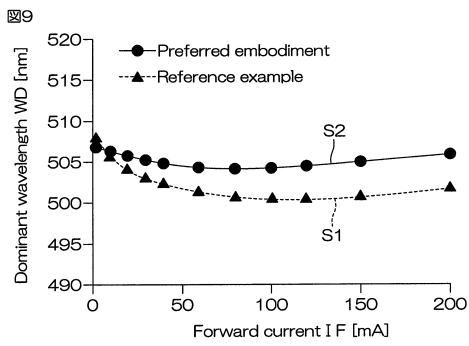


【 図 8 】

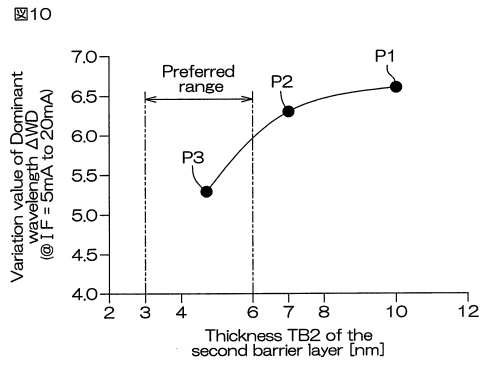


10

【 図 9 】



【 図 10 】



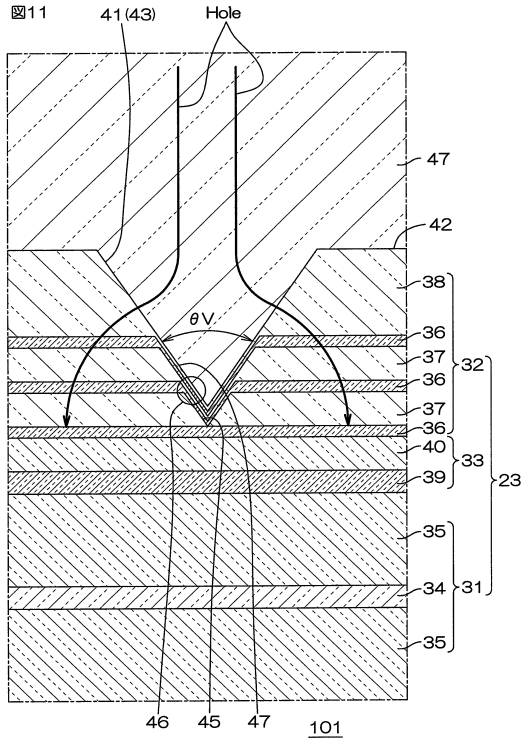
20

30

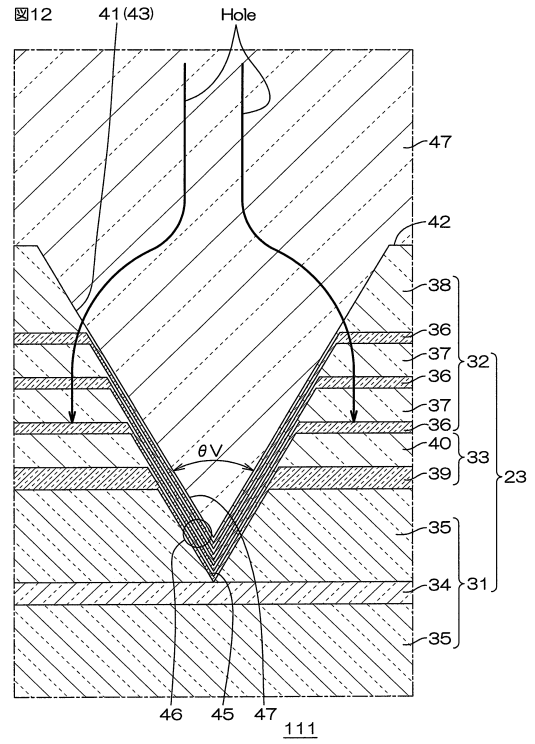
40

50

【 1 1 】



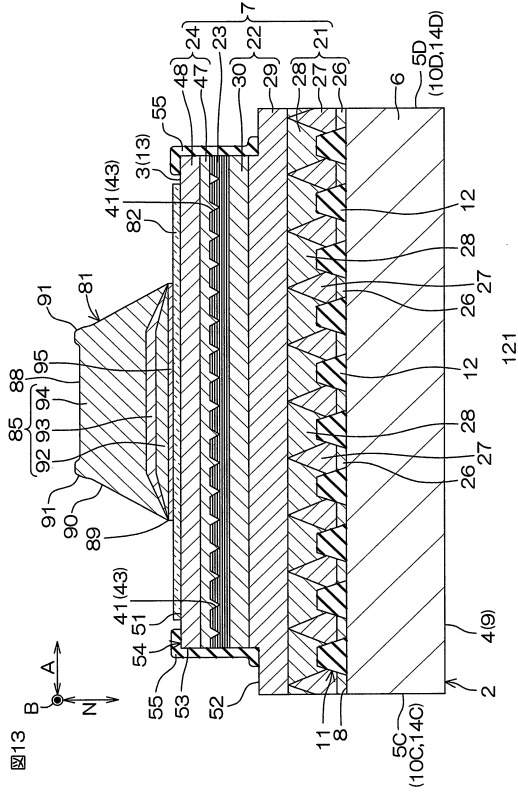
【 1 2 】



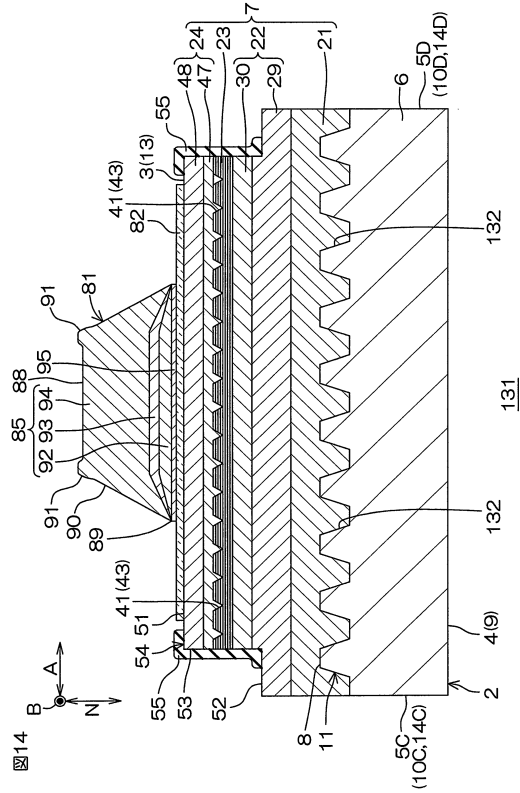
10

20

【 1 3 】



【 1 4 】



30

40

50

## フロントページの続き

京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内

審査官 高橋 健司

- (56)参考文献 特開 2 0 1 7 - 0 1 7 1 4 4 ( J P , A )  
特開 2 0 1 3 - 1 8 7 4 8 4 ( J P , A )  
中国特許出願公開第 1 0 6 3 5 6 4 3 3 ( C N , A )  
中国特許出願公開第 1 0 3 3 4 6 2 2 3 ( C N , A )  
特開 2 0 1 4 - 2 0 7 3 2 8 ( J P , A )  
特開 2 0 1 3 - 0 1 2 6 8 4 ( J P , A )  
中国特許出願公開第 1 0 1 4 8 8 5 4 8 ( C N , A )  
国際公開第 2 0 1 6 / 0 4 7 3 8 6 ( W O , A 1 )  
国際公開第 2 0 1 8 / 0 1 2 5 8 5 ( W O , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 2 5 5 6 6 9 ( U S , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 0 8 7 1 5 4 ( U S , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 2 1 / 2 0 5  
H 0 1 L 2 1 / 3 1  
H 0 1 L 2 1 / 3 6 5  
H 0 1 L 2 1 / 4 6 9  
H 0 1 L 2 1 / 8 6  
H 0 1 L 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 4  
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0  
I E E E X p l o r e