

(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2012-15154
(P2012-15154A)

(43) 公開日 平成24年1月19日(2012.1.19)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/22 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 7 2	5 F O 4 1
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2010-147390 (P2010-147390)	(71) 出願人	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(22) 出願日	平成22年6月29日(2010.6.29)	(74) 代理人	100088672 弁理士 吉竹 英俊
		(74) 代理人	100088845 弁理士 有田 貴弘
		(72) 発明者	杉山 智彦 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
		(72) 発明者	角谷 茂明 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

最終頁に続く

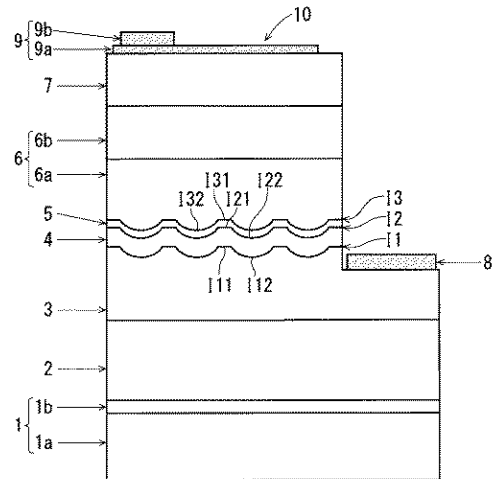
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子および半導体発光素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 光出力の大きい半導体発光素子を実現する。

【解決手段】 第1のIII族窒化物からなる発光層と、第2のIII族窒化物からなりn型の導電性を呈するn型層と、第3のIII族窒化物からなりp型の導電性を呈するp型層と、を基材上に備え、発光層がp型層とn型層との間に位置する半導体発光素子において、それぞれが発光層とこれに隣接する相異なる2つの隣接層との界面である、n型層側の第1の界面とp型層側の第2の界面との少なくとも一方が、平坦部を有するとともにp型層の側からn型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するようにする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の III 族窒化物からなる発光層と、
 第 2 の III 族窒化物からなり n 型の導電性を呈する n 型層と、
 第 3 の III 族窒化物からなり p 型の導電性を呈する p 型層と、
 を所定の基材の上に備え、前記発光層が前記 p 型層と前記 n 型層との間に位置する半導体発光素子であって、

それぞれが前記発光層と当該発光層に隣接する相異なる 2 つの隣接層との界面である、前記 n 型層側の第 1 の界面と前記 p 型層側の第 2 の界面との少なくとも一方が、平坦部を有するとともに前記 p 型層の側から前記 n 型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有する、

ことを特徴とする半導体発光素子。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体発光素子であって、
 前記第 1 の界面が前記平坦部と前記凸部とを有してなる、
 ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体発光素子であって、
 前記第 2 の界面が前記平坦部と前記凸部とを有してなる、
 ことを特徴とする半導体発光素子。

20

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、
 $A_{1-w_1}Ga_{1-w_1}N(0.8-w_1-1.0)$ なる組成の III 族窒化物からなる中間層を備え、

前記中間層が前記相異なる 2 つの隣接層のうちの 1 つであり、前記中間層と前記発光層との界面が前記第 2 の界面である、
 ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の半導体発光素子であって、
 $A_{1-w_1}Ga_{1-w_1}N(0.8-w_1-1.0)$ なる組成の III 族窒化物からなる中間層を備え、

30

前記中間層が前記相異なる 2 つの隣接層のうちの 1 つであり、前記中間層と前記発光層との界面が前記第 2 の界面であり、

前記 p 型層が前記中間層にさらに隣接し、

前記中間層と前記 p 型層との界面が、平坦部を有するとともに、前記第 2 の界面に備わる前記凸部に対応する位置に前記 p 型層の側から前記 n 型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有する、

ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 6】

請求項 4 または請求項 5 に記載の半導体発光素子であって、
 前記中間層が AlN からなることを特徴とする半導体発光素子。

40

【請求項 7】

請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、
 前記 n 型層が前記相異なる 2 つの隣接層のうちの 1 つであり、前記 n 型層と前記発光層との界面が前記第 1 の界面である、
 ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 8】

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、
 前記第 1 の III 族窒化物が $A_{1-y_1}Ga_{z_1}N(0 < y_1 < 1, 0 < z_1 < 1, y_1 + z_1 = 1)$ であり、

50

前記第3のIII族窒化物が $B_{x3}Al_{y3}Ga_{z3}N$ ($0 < x3 < 1$ 、 $y3 < 1$ 、 $0 < z3 < 1$ 、 $x3 + y3 + z3 = 1$) である、
 ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項9】

請求項8に記載の半導体発光素子であって、
 少なくとも前記第2の界面の近傍において、
 前記第3のIII族窒化物が $B_{x3}Al_{y3}Ga_{z3}N$ ($0 < x3 < 1$ 、 $y3 < 1$ 、 $0 < z3 < 1$ 、 $x3 + y3 + z3 = 1$) である、
 ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項10】

半導体発光素子の製造方法であって、
 第1のIII族窒化物からなる発光層を形成する発光層形成工程と、
 第2のIII族窒化物からなり、n型の導電性を呈するn型層を形成するn型層形成工程と、
 第3のIII族窒化物からなり、p型の導電性を呈するp型層を形成するp型層形成工程と、
 を備え、

前記n型層形成工程においては、前記n型層と当該n型層に隣接する相異なる2つの隣接層との界面のうち、前記発光層側の第1の界面が、平坦部を有するとともに前記p型層の側から前記n型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するように、前記n型層を形成する、
 ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項11】

請求項10に記載の半導体発光素子の製造方法であって、
 前記発光層形成工程においては、前記発光層と当該発光層に隣接する相異なる2つの隣接層との界面のうち、前記p型層側の第2の界面が、平坦部を有するとともに前記p型層の側から前記n型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するように、前記発光層を形成する、
 ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項12】

請求項10または請求項11に記載の半導体発光素子の製造方法であって、
 前記発光層形成工程において前記発光層を前記n型層に隣接形成することによって、前記n型層と前記発光層との界面を前記第1の界面として形成する、
 ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項13】

請求項11に記載の半導体発光素子の製造方法であって、
 前記発光層形成工程において前記n型層の表面形状に沿って前記発光層を形成することによって、前記n型層と前記発光層との界面を前記第1の界面として形成するとともに前記第1の界面に備わる前記凸部に対応する位置に前記第2の界面の前記凸部を形成させる、
 ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項14】

請求項10ないし請求項13のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法であって、
 $Al_{w1}Ga_{1-w1}N$ ($0.8 > w1 > 0$) なる組成のIII族窒化物からなる中間層を前記発光層に隣接させて形成する中間層形成工程、
 をさらに備えることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項15】

請求項13に記載の半導体発光素子の製造方法であって、
 $Al_{w1}Ga_{1-w1}N$ ($0.8 > w1 > 0$) なる組成のIII族窒化物からなる中間層を前記発光層に隣接させて形成する中間層形成工程、

10

20

30

40

50

をさらに備え、

前記中間層形成工程において前記発光層の表面形状に沿って前記中間層を形成することによって、前記発光層と前記中間層との界面を前記第2の界面として形成するとともに、前記p型層形成工程において前記p型層を前記中間層の表面形状に沿って形成することで、前記中間層と前記p型層との界面が、平坦部を有するとともに、前記第2の界面に備わる前記凸部に対応する位置に前記p型層の側から前記n型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するようにする、

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】

請求項14または請求項15に記載の半導体発光素子の製造方法であって、
前記中間層をAlNにて形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

10

【請求項17】

請求項10ないし請求項16のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法であって、
前記第1のIII族窒化物が $Al_{y_1}Ga_{z_1}N$ ($0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $y_1 + z_1 = 1$)であり、

前記第3のIII族窒化物が $B_{x_3}Al_{y_3}Ga_{z_3}N$ ($0 < x_3 < 1$ 、 $y_1 < y_3 < 1$ 、 $0 < z_3 < 1$ 、 $x_3 + y_3 + z_3 = 1$)である、

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項18】

請求項17に記載の半導体発光素子の製造方法であって、

前記p型層形成工程においては、前記発光層の側の前記p型層と隣接層との界面近傍において、

20

前記第3のIII族窒化物が $B_{x_3}Al_{y_3}Ga_{z_3}N$ ($0 < x_3 < 1$ 、 $y_1 < y_3 < 1$ 、 $0 < z_3 < 1$ 、 $x_3 + y_3 + z_3 = 1$)であるように前記p型層を形成する、

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物半導体を用いた発光素子に関する。

【背景技術】

30

【0002】

深紫外域(例えば270nm)に発光波長を有するダイオード構造型の発光素子(以下、LEDとも称する)として、Al組成比の高い $Al_xGa_{1-x}N$ (概ね $x > 0.4$)からなる化合物半導体を発光層に用い、該発光層の形成材料よりもさらにAl組成比が高い(バンドギャップが大きい) $AlGaIn$ からなるn型層およびp型層によって発光層を挟み込む構造がすでに公知である(例えば、非特許文献1参照)。なお、n型層およびp型層を発光層の形成材料よりもバンドギャップが大きい材料にて形成するのは、LEDの発光効率を向上させるためである。

【先行技術文献】

【非特許文献】

40

【0003】

【非特許文献1】"III-Nitride UV devices", M.Asif Khan, M.Shatalov, H.P.Maruska, H.M. Wang, and E. Kuokstis, Jpn. J. Appl. Phys., vol.44, No.10, 2005, pp.7191-7206"

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

高Al組成のp型 $AlGaIn$ は、アクセプタ準位が深くホールキャリア濃度が低いため、これを用いてp型層を構成する場合、発光効率の向上という効果が得られる一方で、p型層の導電率が低くなり、かつp型層と電極とのコンタクト抵抗が高くなるという不具合

50

も生じる。非特許文献 1 に開示された発光素子においては、高 Al 組成の p 型 AlGaIn からなる p 型導電層の上に p 型 GaN からなるコンタクト層を形成し、該コンタクト層に対して電極を形成することで、コンタクト抵抗の低減が図られている。

【0005】

しかしながら、GaN は AlGaIn よりもバンドギャップが小さいため、GaN からなるコンタクト層を設けた場合、発光層から放出される光の一部がコンタクト層によって吸収されてしまうため、LED からの光取り出し効率が悪く光出力が小さいという問題が生じる。

【0006】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、光出力の大きい半導体発光素子を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するため、請求項 1 の発明は、第 1 の III 族窒化物からなる発光層と、第 2 の III 族窒化物からなり n 型の導電性を呈する n 型層と、第 3 の III 族窒化物からなり p 型の導電性を呈する p 型層と、を所定の基材の上に備え、前記発光層が前記 p 型層と前記 n 型層との間に位置する半導体発光素子であって、それぞれが前記発光層と当該発光層に隣接する相異なる 2 つの隣接層との界面である、前記 n 型層側の第 1 の界面と前記 p 型層側の第 2 の界面との少なくとも一方が、平坦部を有するとともに前記 p 型層の側から前記 n 型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有する、ことを特徴とする。

【0008】

請求項 2 の発明は、請求項 1 に記載の半導体発光素子であって、前記第 1 の界面が前記平坦部と前記凸部とを有してなる、ことを特徴とする。

【0009】

請求項 3 の発明は、請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体発光素子であって、前記第 2 の界面が前記平坦部と前記凸部とを有してなる、ことを特徴とする。

【0010】

請求項 4 の発明は、請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、 $Al_{w_1}Ga_{1-w_1}N$ ($0.8 < w_1 < 1.0$) なる組成の III 族窒化物からなる中間層を備え、前記中間層が前記相異なる 2 つの隣接層のうちの 1 つであり、前記中間層と前記発光層との界面が前記第 2 の界面である、ことを特徴とする。

【0011】

請求項 5 の発明は、請求項 3 に記載の半導体発光素子であって、 $Al_{w_1}Ga_{1-w_1}N$ ($0.8 < w_1 < 1.0$) なる組成の III 族窒化物からなる中間層を備え、前記中間層が前記相異なる 2 つの隣接層のうちの 1 つであり、前記中間層と前記発光層との界面が前記第 2 の界面であり、前記 p 型層が前記中間層にさらに隣接し、前記中間層と前記 p 型層との界面が、平坦部を有するとともに、前記第 2 の界面に備わる前記凸部に対応する位置に前記 p 型層の側から前記 n 型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有する、ことを特徴とする。

【0012】

請求項 6 の発明は、請求項 4 または請求項 5 に記載の半導体発光素子であって、前記中間層が AlN からなることを特徴とする。

【0013】

請求項 7 の発明は、請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記 n 型層が前記相異なる 2 つの隣接層のうちの 1 つであり、前記 n 型層と前記発光層との界面が前記第 1 の界面である、ことを特徴とする。

【0014】

請求項 8 の発明は、請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記第 1 の III 族窒化物が $Al_{y_1}Ga_{z_1}N$ ($0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $y_1 + z_1 = 1$) であり、前記第 3 の III 族窒化物が $B_{x_3}Al_{y_3}Ga_{z_3}N$ ($0 < x_3 < 1$ 、 $y_1 <$

10

20

30

40

50

$y_3 = 1, 0 < z_3 < 1, x_3 + y_3 + z_3 = 1$) である、ことを特徴とする。

【0015】

請求項9の発明は、請求項8に記載の半導体発光素子であって、少なくとも前記第2の界面の近傍において、前記第3のIII族窒化物が $B_{x_3}Al_{y_3}Ga_{z_3}N$ ($0 < x_3 < 1, y_3 = 1, 0 < z_3 < 1, x_3 + y_3 + z_3 = 1$) である、ことを特徴とする。

【0016】

請求項10の発明は、半導体発光素子の製造方法であって、第1のIII族窒化物からなる発光層を形成する発光層形成工程と、第2のIII族窒化物からなり、n型の導電性を呈するn型層を形成するn型層形成工程と、第3のIII族窒化物からなり、p型の導電性を呈するp型層を形成するp型層形成工程と、を備え、前記n型層形成工程においては、前記n型層と当該n型層に隣接する相異なる2つの隣接層との界面のうち、前記発光層側の第1の界面が、平坦部を有するとともに前記p型層の側から前記n型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するように、前記n型層を形成する、ことを特徴とする。

10

【0017】

請求項11の発明は、請求項10に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記発光層形成工程においては、前記発光層と当該発光層に隣接する相異なる2つの隣接層との界面のうち、前記p型層側の第2の界面が、平坦部を有するとともに前記p型層の側から前記n型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するように、前記発光層を形成する、ことを特徴とする。

【0018】

請求項12の発明は、請求項10または請求項11に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記発光層形成工程において前記発光層を前記n型層に隣接形成することによって、前記n型層と前記発光層との界面を前記第1の界面として形成する、ことを特徴とする。

20

【0019】

請求項13の発明は、請求項11に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記発光層形成工程において前記n型層の表面形状に沿って前記発光層を形成することによって、前記n型層と前記発光層との界面を前記第1の界面として形成するとともに前記第1の界面に備わる前記凸部に対応する位置に前記第2の界面の前記凸部を形成させる、ことを特徴とする。

30

【0020】

請求項14の発明は、請求項10ないし請求項13のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法であって、 $Al_{w_1}Ga_{1-w_1}N$ ($0.8 < w_1 < 1.0$) なる組成のIII族窒化物からなる中間層を前記発光層に隣接させて形成する中間層形成工程、をさらに備えることを特徴とする。

【0021】

請求項15の発明は、請求項13に記載の半導体発光素子の製造方法であって、 $Al_{w_1}Ga_{1-w_1}N$ ($0.8 < w_1 < 1.0$) なる組成のIII族窒化物からなる中間層を前記発光層に隣接させて形成する中間層形成工程、をさらに備え、前記中間層形成工程において前記発光層の表面形状に沿って前記中間層を形成することによって、前記発光層と前記中間層との界面を前記第2の界面として形成するとともに、前記p型層形成工程において前記p型層を前記中間層の表面形状に沿って形成することで、前記中間層と前記p型層との界面が、平坦部を有するとともに、前記第2の界面に備わる前記凸部に対応する位置に前記p型層の側から前記n型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するようにする、ことを特徴とする。

40

【0022】

請求項16の発明は、請求項14または請求項15に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記中間層を AlN にて形成することを特徴とする。

【0023】

請求項17の発明は、請求項10ないし請求項16のいずれかに記載の半導体発光素子

50

の製造方法であって、前記第1のIII族窒化物が $A l_{y_1} G a_{z_1} N$ ($0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $y_1 + z_1 = 1$)であり、前記第3のIII族窒化物が $B_{x_3} A l_{y_3} G a_{z_3} N$ ($0 < x_3 < 1$ 、 $y_1 < y_3 < 1$ 、 $0 < z_3 < 1$ 、 $x_3 + y_3 + z_3 = 1$)である、ことを特徴とする。

【0024】

請求項18の発明は、請求項17に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記p型層形成工程においては、前記発光層の側の前記p型層と隣接層との界面近傍において、前記第3のIII族窒化物が $B_{x_3} A l_{y_3} G a_{z_3} N$ ($0 < x_3 < 1$ 、 $y_1 < y_3 < 1$ 、 $0 < z_3 < 1$ 、 $x_3 + y_3 + z_3 = 1$)であるように前記p型層を形成する、ことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0025】

請求項1ないし請求項18の発明によれば、層組成が同じであるにも関わらず、従来よりも光出力の高い半導体発光素子が、実現される。

【0026】

特に、請求項2、請求項7、および請求項10ないし請求項18の発明によれば、発光層からn型層の側へと放出される光がより効率的に外部へ取り出されることにより、光出力が増大する。

【0027】

特に、請求項3、請求項5、請求項11、請求項13、および請求項15の発明によれば、発光層からp型層の側へと放出された光のうち、途中で反射されてn型層の側へと向かう光の割合が多くなることにより、p型層における吸収が抑制されて発光層にて生じた光がより効率的に外部へと取り出されることになり、結果として光出力が増大する。

20

【0028】

特に、請求項4ないし請求項6、および請求項14ないし請求項16の発明によれば、中間層を備えることにより、ねらいの発光波長の光についての発光効率が高い半導体発光素子が実現される。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明の実施の形態に係る発光素子10の構造を模式的に示す図である。

30

【図2】凸部I12、I22、およびI32の形状を特定するパラメータの定義を示すための図である。

【図3】発光素子10において発光層4から発せられる光の方位について説明するための図である。

【図4】発光層4'内の点P'から放出された光が界面I1'、I2'に入射する様子を示す図である。

【図5】発光層4内の点Pから放出された光が界面I1、I2に入射する様子を示す図である。

【図6】窪み3bの形成およびこれに引き続く層形成の様子を模式的に示す図である。

【図7】SiO₂マスク100の上面図である。

40

【図8】比較例1に係る発光素子20の構造を模式的に示す図である。

【図9】比較例2に係る発光素子30の構造を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

< 発光素子の概略構成 >

図1は、本発明の実施の形態に係る発光素子10の構造を模式的に示す図である。なお、図1以降の各図における各部の比率は、必ずしも実際のものを反映したものではない。図1に示すように、発光素子10は、基板1の上に、下地層2と、第1導電層3と、発光層4と、中間層5と、第2導電層6と、コンタクト層7とをこの順に隣接形成させた積層構造を有する。換言すれば、下地層2の上において第1導電層3と第2導電層6とで発光

50

層 4 と中間層 5 とを上下から挟み込み、さらにその上にコンタクト層 7 を備える積層構造体を、基板 1 の上に設けたものであるともいえる。

【 0 0 3 1 】

また、第 1 導電層 3 の一部は露出しており、その露出部分にカソード電極部 8 が設けられてなる。なお、カソード電極部 8 のことをカソード電極パッド 8 とも称する。カソード電極パッド 8 は、 $Ti / Al / Ni / Au$ によって形成されてなる。

【 0 0 3 2 】

さらに、コンタクト層 7 の上には、アノード電極層 9 a とアノード電極パッド 9 b とからなるアノード電極部 9 が設けられてなる。アノード電極層 9 a は、コンタクト層 7 の略全面に形成されてなる。アノード電極パッド 9 b は、係るアノード電極層 9 a の一部に設けられてなる。アノード電極層 9 a とアノード電極パッド 9 b とは、 Ni / Au によって形成されてなる。

10

【 0 0 3 3 】

発光素子 1 0 は、カソード電極パッド 8 とアノード電極パッド 9 b との間に所定の電圧を印加することで生じる、発光層 4 におけるキャリアの再結合による励起発光を、素子外部に向けて出射するものである。

【 0 0 3 4 】

基板 1 は、サファイア、 MgO 、ダイヤモンドや AlN 、 $AlGaInN$ 、 $AlInN$ 、 $AlInGaInN$ などの単結晶基材 1 a と、該単結晶基材 1 a の上に AlN 、 $AlGaInN$ 、 $AlInN$ 、 $AlInGaInN$ などの III 族窒化物の結晶をエピタキシャル形成させてなる表面層 1 b とからなる、いわゆるエピタキシャル基板である。例えば、厚みが数百 μm 程度の C 面単結晶サファイアを単結晶基材 1 a として用い、その上に、MOCVD 法によって $0.1 \mu m \sim$ 数 μm 程度の厚みの AlN 単結晶層を表面層 1 b としてエピタキシャル成長させたものを基板 1 とするのが好適な一例である。単結晶基材 1 a、表面層 1 b の材料としては、外部量子効率を向上させる観点から、所望の発光波長の吸収係数が小さい材料を選択することが望ましい。ただし、表面層 1 b を有しておらず単結晶基材そのものを基板 1 として用いる態様であってもよい。

20

【 0 0 3 5 】

このような基板 1 の上に、MOCVD 法などの公知のエピタキシャル成長法によって所定の III 族窒化物からなる複数の層を順次にエピタキシャル成長させることで、上述の積層構造を構成する各層が形成されてなる。

30

【 0 0 3 6 】

なお、第 1 導電層 3 は、n 型の導電性を有するように形成されてなる。このように n 型の導電性を有する部位を、n 型の導電部もしくは n 型層と総称する場合がある。また、第 2 導電層 6 とコンタクト層 7 とは、いずれも p 型の導電性を有するように形成されてなる。このように p 型の導電性を有する部位を、p 型の導電部もしくは p 型層と総称する場合がある。

【 0 0 3 7 】

発光層 4 は、発光素子 1 0 において発光を担う層であり、 $Al_{y_1}Ga_{z_1}N$ ($0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $y_1 + z_1 = 1$) なる組成の III 族窒化物にて数 $nm \sim$ 数十 nm 程度の厚みに形成されてなる。紫外領域に発光波長を有するように発光素子 1 0 を構成する場合であれば、 $0.1 < y_1 < 0.9$ をみたくように発光層 4 を形成する。ここで、紫外領域に発光波長を有するとは、発光波長が $210 nm$ 以上 $340 nm$ 以下の範囲にあることを意味する。なお、 $0.25 < y_1 < 0.6$ をみたくように発光層 4 を形成すれば、発光波長が $250 nm$ 以上 $300 nm$ 以下の範囲にある発光が得られる。例えば、 $Al_{0.49}Ga_{0.51}N$ なる III 族窒化物で発光層 4 を形成した場合には、 $265 nm$ の発光波長の発光が得られる。

40

【 0 0 3 8 】

本実施の形態に係る発光素子 1 0 においては、発光層 4 とその隣接層である第 1 導電層 3 および中間層 5 との界面の形状が特徴的である。その詳細については後述する。

50

【0039】

第1導電層3は、n型の導電型を有する。第1導電層3は、第2導電層6（より具体的にはクラッド層6a）と併せ、発光層4にキャリア（第1導電層3においては主に電子、第2導電層6においては主にホール）を供給し、かつキャリアの閉じこめ効果を高める目的で設けられる層である。すなわち、第1導電層3は、いわゆるクラッド層として機能する。係る目的を満たすべく、第1導電層3は、発光層4を構成するIII族窒化物よりも、バンドギャップが大きなIII族窒化物で形成されてなる。

【0040】

発光層4が $Al_{y_1}Ga_{z_1}N$ （ $0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $y_1 + z_1 = 1$ ）なるIII族窒化物で形成されてなる場合、第1導電層3は、さらにAlリッチな $Al_{y_2}Ga_{z_2}N$ （ $y_1 < y_2 < 1$ 、 $0 < z_2 < z_1$ 、 $y_2 + z_2 = 1$ ）なるIII族窒化物に、Siなどのn型のドーパントをドーブすることによって形成されてなる。より好ましくは、少なくとも発光層4との接合部近傍においては、 $y_1 < y_2 < 1$ かつ $0.6 < y_2 < 1$ をみたすように形成される。係る場合、発光素子10の発光特性がより向上するからである。

10

【0041】

例えば、発光層4を $Al_{0.49}Ga_{0.51}N$ なるIII族窒化物で形成する場合であれば、n型ドーパントとしてのSi原子を $2 \times 10^{18}/cm^3$ 程度含む $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ からなる層を $1 \mu m$ 程度の厚みに形成するのが好適である。

【0042】

なお、上述したように、第1導電層3の一部は露出させられてなり、その露出部分にカソード電極部8が設けられてなる。すなわち、第1導電層3は、カソード電極部8とのコンタクト層としての役割をも担う。

20

【0043】

下地層2は、第1導電層3を構成するIII族窒化物と略同一組成のIII族窒化物にて形成されてなる。ただし、下地層2は、第1導電層3と違い、ドーパントはドーブされていない高抵抗層である。下地層2は、数百nm～数 μm 程度の厚みに形成されるのがその好適な一例である。

【0044】

第2導電層6は、p型の導電型を有する。第2導電層6は、少なくとも発光層4へのキャリアの閉じ込めが実現されるように設けられる層である。本実施の形態に係る発光素子10においては、第2導電層6が、この閉じ込め効果を担うクラッド層6aと、発光層4へのキャリア供給効率を高めるためのキャリア供給層6bとの2層からなるものとする。

30

【0045】

クラッド層6aは、上述したように、第1導電層3と併せ、発光層4におけるキャリアの閉じこめ効果を高める目的で設けられる層である。従って、発光層4を構成するIII族窒化物よりも、バンドギャップが大きなIII族窒化物で形成されてなる。

【0046】

発光層4が $Al_{y_1}Ga_{z_1}N$ （ $0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $y_1 + z_1 = 1$ ）なるIII族窒化物で形成されてなる場合、クラッド層6aは、さらにAlリッチな $B_{x_3}Al_{y_3}Ga_{z_3}N$ （ $0 < x_3 < 1$ 、 $y_1 < y_3 < 1$ 、 $0 < z_3 < 1$ 、 $x_3 + y_3 + z_3 = 1$ ）なるIII族窒化物に、Mgなどのp型のドーパントをドーブすることによって形成されてなる。より好ましくは、クラッド層6aは、少なくとも発光層4との接合部近傍においては $0 < x_3 < 1$ をみたすように形成される。すなわち、B（ホウ素）を含有するように形成される。係る場合、発光素子10の光出力がより向上する。これは、発光層4とクラッド層6aに小さい屈折率を持つ材料を用いるほど、発光層4とクラッド層6aとの界面における反射率が大きくなり、その結果として、発光層4からの光がコンタクト層7の側へと通過することが抑制されて光の取り出し効率が高められることによる。

40

【0047】

一方、キャリア供給層6bは、発光層4に対しキャリアが効率的に供給されるように設

50

けられる層である。キャリア供給層 6 b は、クラッド層 6 a よりもバンドギャップが小さい III 族窒化物にて形成される。

【 0 0 4 8 】

例えば、発光層 4 を $\text{Al}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{N}$ なる III 族窒化物で形成する場合、クラッド層 6 a については、p 型ドーパントとしての Mg 原子を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度含む $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ からなる層を、数十 nm 程度の厚みに形成し、キャリア供給層 6 b については、p 型ドーパントとしての Mg 原子を $3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度含む $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ からなる層を、数十 nm 程度の厚みに形成するのが、好適な一例である。

【 0 0 4 9 】

なお、発光層 4 との接合部近傍において B を含有するようにクラッド層 6 a を形成した場合、クラッド層 6 a の屈折率が小さくなるので、発光層 4 からの光が中間層 5 とクラッド層 6 a との界面で反射する割合が相対的に大きくなり、コンタクト層 7 における光の吸収が抑制される。結果的に、発光素子 10 からの光の取り出し効率が高まる。

10

【 0 0 5 0 】

なお、キャリア供給層 6 b は単一組成で構成される必要はなく、超格子構造としたり組成傾斜構造とすることもできる。こうした構造は、p 型キャリア濃度の向上や、抵抗低減の役割を担う。

【 0 0 5 1 】

コンタクト層 7 は、アノード電極部 9 との間で良好なオーミック接触を得るために、第 2 導電層 6 とアノード電極部 9 との間に形成される。第 2 導電層 6 がキャリア供給層 6 b を有してなる場合は、キャリア供給層 6 b の上に設けられる。

20

【 0 0 5 2 】

コンタクト層 7 は、p 型の導電性を有する。コンタクト層 7 は、発光層 4 を構成する II 族窒化物よりもバンドギャップが小さい III 族窒化物に、Mg などの p 型のドーパントをドーピングすることによって形成される。第 2 導電層 6 がキャリア供給層 6 b を有してなる場合は、キャリア供給層 6 b よりもバンドギャップが小さい III 族窒化物を用いて形成される。例えば、GaIn を用いるのが好適な一例である。なお、コンタクト層 7 を、発光層 4 を構成する III 族窒化物よりもバンドギャップが小さい III 族窒化物にて形成するのは、アノード電極層 9 a とのコンタクト特性を良好に確保するためである。

【 0 0 5 3 】

コンタクト層 7 は、その機能が確保される範囲において適宜の厚みに形成されてよい。例えば、100 nm 以上の厚みを有するように形成することもできる。100 nm よりも厚くコンタクト層 7 を形成した場合、三次元核成長段階から二次元成長段階に移行するため、表面が平坦な結晶層として形成され、比抵抗を低減できる。200 nm 程度に設けるのが好適な一例である。

30

【 0 0 5 4 】

なお、コンタクト層 7 を、III 族窒化物の組成や不純物濃度が異なる複数の層からなる多層構造を有するように形成してもよい。例えば、Al、Ga、In 組成を変調若しくは超格子構造にしたり、表面近傍で p 型のドーパント濃度を上げたりすることにより、p 型電極との接触抵抗を低減することも可能である。

40

【 0 0 5 5 】

中間層 5 は、発光素子 10 において、発光層 4 からの所望の発光波長（ねらいの発光波長）での発光を良好に生じさせる目的で設けられる。中間層 5 は、好ましくは、 $\text{Al}_{w_1}\text{Ga}_{1-w_1}\text{N}$ ($0.8 < w_1 < 1.0$) なる III 族窒化物にて、より好ましくは AlN にて、5 nm 以下の厚みに、好ましくは 1 nm 程度の厚みに形成される。中間層 5 を 5 nm より厚く形成することは、立ち上がり電圧を大きくする必要が生じるため好ましくない。

【 0 0 5 6 】

特に AlN を用いて中間層 5 を形成する場合、中間層 5 の厚みは、第 2 導電層 6 から発光層 4 へのキャリア注入が阻害されないように、トンネル電流が支配的になるような範囲内とすることが望ましい。

50

【 0 0 5 7 】

中間層 5 は、発光素子 1 0 における光出力の向上という本発明の作用効果を得るうえにおいては、必須の構成ではない。ただし、中間層 5 を設けない場合、3 0 0 n m 帯においてねらいの発光波長以外での不要な発光が生じることが、本発明の発明者によって確認されている。これは、第 2 導電層 6 (クラッド層 6 a とキャリア供給層 6 b) にドーピングされてなる M g 原子が発光素子 1 0 の作成過程で発光層 4 に拡散することが原因と考えられる事象である。本実施の形態においては、中間層 5 を設けることによって M g の拡散を防止することにより、このような不要な発光を抑制し、かつ、ねらいの発光波長の光についての発光効率を向上させるようにしている。なお、この効果は、原子間の結合力が強く、格子定数が最も小さい A l N の場合に顕著となる。また、G a を含まない A l N を用いて中間層 5 を形成する場合、二元系の材料が持つ面内での組成均一化の効果も、発光効率の向上に寄与している。ただし、この場合、中間層 5 に不純物程度の G a、I n が含まれることは、組成不均一を引き起こすことにはならないので、排除されない。

10

【 0 0 5 8 】

< 発光層と隣接層との界面の形状と光取り出し効率 >

上述したように、本実施の形態に係る発光素子 1 0 においては、発光層 4 とこれに隣接する第 1 導電層 3 および中間層 5 との界面の形状が特徴的である。以下、この点について説明する。

【 0 0 5 9 】

図 1 に示すように、発光層 4 と第 1 導電層 3 との界面 I 1 は、一様に平坦ではなく、平坦部 I 1 1 を有するとともに第 2 導電層 6 の側から第 1 導電層 3 の側に向けて突出した (図 1 においては図面上側から下側に向けて突出している) 曲面形状の複数の凸部 I 1 2 を有する。加えて、発光層 4 と中間層 5 との界面 I 2 も同様に、平坦部 I 2 1 と複数の凸部 I 2 2 とを有する。さらには、図 1 に示す場合においては、中間層 5 とクラッド層 6 a との界面も同様に、平坦部 I 3 1 と複数の凸部 I 3 2 とを有する。より一般的な表現をすれば、凸部 I 1 2、I 2 2、および I 3 2 は、p 型層の側から n 型層の側に向けて突出していることになる。なお、図 1 に示す場合においては、各界面に形成された凸部 I 1 2、I 2 2、および I 3 2 の水平方向の位置が略一致しているが、これは必須の構成ではない。凸部 I 1 2、I 2 2、および I 3 2 は、球面の一部であるのが好適であるが、放物面その他の二次曲面の一部などであってもよい。

20

30

【 0 0 6 0 】

図 2 は、凸部 I 1 2、I 2 2、および I 3 2 の形状を特定するパラメータの定義を示すための図である。なお、図 2 においては、凸部 I 1 2 を例として示しているが、凸部 I 2 2 および I 3 2 についても同様である。具体的には、凸部 I 1 2 の外周端部から水平距離が最大となる 2 点を選択したときの当該距離を、凸部 I 1 2 の幅 w と定義する。また、平坦部 I 1 1 の位置を基準としたときの凸部 I 1 2 の最底部までの鉛直距離を凸部 I 1 2 の高さ h と定義する。幅 w は、1 0 0 n m ~ 1 0 0 0 n m 程度であるのが好適であり、高さ h は 2 5 n m ~ 5 0 0 n m 程度であるのが好適である。

【 0 0 6 1 】

発光素子 1 0 において、界面 I 1 および I 2 さらには I 3 がこのような形状にて形成されるのは、発光層 4 で生じた光の取り出し効率を高めるためである。具体的にいえば、発光層 4 で生じた光が、コンタクト層 7 において吸収されることをできるだけ抑制するとともに、第 1 導電層 3 の側からより多くの光を取り出すためである。より詳細には、上述した態様にて凸部 I 1 2、I 2 2 を設けることで、発光素子 1 0 は、次の 2 通りの作用効果を奏するものとなっており、これらの作用効果の組合せによって、光の取り出し効率が高められてなる。第 1 の作用効果は、凸部を設けない場合に比して、発光層 4 内の任意の発光点からコンタクト層 7 の側へと向かう光の割合が相対的に低く、第 1 導電層 3 の側へと向かう光の割合が相対的に高くなったことである。第 2 の作用効果は、凸部を設けない場合に比して、発光層 4 内の任意の発光点から発せられて界面 I 2 に入射する光の透過比率が相対的に低く (反射比率が相対的に高く)、界面 I 1 に入射する光の透過比率が相対的

40

50

に高く（反射比率が相対的に低く）なったことである。

【0062】

まず、第1の作用効果について説明する。図3は、発光素子10において発光層4から発せられる光の方位について説明するための図である。なお、図3においては、対比のため、凸部I12を有さない平坦な仮想界面I1'および凸部I22を有さない平坦な仮想界面I2'を破線で示している。仮想界面I1'および仮想界面I2'は略水平面として想定される。また、仮想界面I1'、I2'で挟まれた凸部が存在しない場合の発光層4を特に、発光層4'と称することとする。

【0063】

いま、発光層4において界面I1の凸部I12と界面I2の凸部I22の間に位置する任意の点Pから放出される光と、発光層4'内の点P'から放出される光について考える。発光層4、4'においては、任意の位置において等方的な発光が生じる。それゆえ、ある任意の発光点から放出される光のうち、コンタクト層7の側へと向かう光の割合や、第1導電層3の側へと向かう光の割合の相対的な大小は、当該方向へと向かう光が取り得る出射方位を示す角度範囲の大小によって表すことができる。

10

【0064】

そこでまず、発光層4'内の点P'からの光の放出を考えると、界面I1'、I2'は点P'を挟んで平行に位置しているので、点P'から放出された光は界面I1'、I2'に均等に到達する。換言すれば、点P'から放出されて界面I2'に達する光の放出方位についての角度範囲を θ_1 とし、界面I1'に達する光の放出方位についての角度範囲を θ_2 とすると、 θ_1 、 θ_2 は、理論上は180°に近い鈍角となる（実際の発光素子においてはサイズの制約によってさらに小さい角度となり得るが、このことは本質的な問題ではない）。

20

【0065】

一方、点Pからの光の放出についてみれば、凸部I12と平坦部I11との境界位置Qと点Pとを結ぶ線分T1と、凸部I22上の接点Rと点Pとを結ぶ線分（接線）T2とに挟まれる鈍角の角度範囲のみが、（平坦部I21に到達する場合も含めて）界面I2に到達する光の放出方位であり、他の角度範囲は界面I1に到達する光の放出方位となる。よって、点Pから放出されて界面I2に達する光の放出方位についての角度範囲を θ_3 とし、界面I1に達する光の放出方位についての角度範囲を θ_4 とすると、 $\theta_3 < \theta_4$ かつ、 $\theta_3 > \theta_4$ が成り立つことになる。これらの関係は、任意の点P、P'について成り立つ。

30

【0066】

ゆえに、発光素子10においては、凸部を設けない場合に比して、発光層4から放出される光のうち、コンタクト層7の側へと向かう光の割合が相対的に小さく、第1導電層3の側へと向かう光の割合が相対的に大きくなっている。すなわち、発光素子10は、上述した第1の作用効果を奏するものとなっている。

【0067】

次に、第2の作用効果について説明する。図4は、発光層4'内の点P'から放出された光が界面I1'、I2'に入射する様子を示す図であり、図5は、発光層4内の点Pから放出された光が界面I1、I2に入射する様子を示す図である。

40

【0068】

まず、図4に示すように、発光層4'内の点P'から放出された光L1'、L2'が界面I2'に対して任意の入射角 θ_1 で入射する場合を考えると、光L1'、L2'の放出方位同士がなす角度範囲 θ_1 内に向けて点P'から放出される光の入射角は、 θ_1 よりも小さい。同様に、点P'から放出された光L3'、L4'が界面I1'に対して同じく入射角 θ_2 で入射する場合についても、光L3'、L4'の入射方位同士がなす角度範囲 θ_2 内に向けて点P'から放出される光の入射角は、 θ_2 よりも小さい。

【0069】

次に、図5に示すように、発光層4内の点Pから放出された光L1、L2が同じ入射角 θ で界面I2に対して入射する場合を考える。なお、図5においては、理解の助けのため

50

に光 $L1'$ 、 $L2'$ 、 $L3'$ 、 $L4'$ を重ね合わせている。図 5 に示すように、界面形状の違いを反映して、光 $L1$ 、 $L2$ の入射方位同士がなす角度範囲 θ_1 は、図 4 の場合の角度範囲 θ_1' よりも小さい。また、点 P から放出された光 $L3$ 、 $L4$ がやはり入射角 θ_2 で界面 $I1$ に対して入射する場合には、光 $L3$ 、 $L4$ の入射方位同士がなす角度範囲 θ_2 は、図 4 の場合の角度範囲 θ_2' よりも大きい。すなわち、コンタクト層 7 の側へ向けて放出される光については $\theta_1 < \theta_1'$ が成り立ち、第 1 導電層 3 の側へ向けて放出される光については、 $\theta_2 > \theta_2'$ が成り立っている。

【0070】

は任意の角度であるので、図 4 および図 5 は結局のところ、発光層から放出されて中間層 5 との界面に入射する光においては、凸部 $I22$ を設けた場合の方が凸部 $I22$ を設けない場合よりも入射角が大きい光の割合が相対的に多く、発光層から放出されて第 1 導電層 3 との界面に入射する光においては、凸部 $I12$ を設けた場合の方が凸部 $I12$ を設けない場合よりも入射角が よりも小さい光の割合が相対的に多いということ、意味していることになる。

10

【0071】

一般に、界面にある方向から光が入射する場合、入射角が大きいほど透過する割合が小さく、入射角が小さいほど透過する割合が大きい。このことを併せ考えると、発光素子 10 においては、凸部 $I12$ 、 $I22$ を備えることにより、発光層 4 内の任意の発光点から界面 $I2$ に入射する光の透過比率が相対的に低く、界面 $I1$ に入射する光の透過比率が相対的に高くなっていることになる。すなわち、発光素子 10 は、上述した第 2 の作用効果を奏するものとなっている。

20

【0072】

以上を踏まえると、発光層と隣接層との界面に凸部を備える発光素子 10 においては、第 1 の作用効果によって、発光層 4 からコンタクト層 7 へと向かう光の割合が相対的に少なく、第 1 導電層 3 へと向かう光の割合が相対的に多くなっている。加えて、第 2 の作用効果によって、コンタクト層 7 の側の界面 $I2$ に入射する光の透過比率が相対的に小さくなっている。これにより、発光素子 10 においては、コンタクト層 7 にまで到達する光の割合が相対的に小さくなっているため、自ずから、コンタクト層 7 における吸収は少なくなっている。その一方で、第 1 導電層 3 を通じて外部に発せられる光の割合は相対的に大きくなっている。なお、第 1 導電層 3 およびこれに隣接する下地層 2 とは、発光層 4 の形成材料よりもバンドギャップの大きい略同一の組成の III 族窒化物にて形成されているので、第 1 導電層 3 の側へと向かった光は好適に外部へと通過する。従って、第 1 導電層 3 の側へと向かう光の割合が相対的に大きくなることはそのまま、発光素子 10 における光出力が増大することを意味する。

30

【0073】

結果として、本実施の形態に係る発光素子 10 は、コンタクト層 7 にて吸収される光の割合を抑制しつつ、光の取り出し効率を高めたものとなっている。すなわち、発光素子 10 においては、高い光出力が実現されてなる。

【0074】

しかも、本実施の形態に係る発光素子 10 においては、中間層 5 とクラッド層 6a との界面 $I3$ も界面 $I2$ の凸部 $I22$ と同様の凸部 $I32$ を含む構成を有している。それゆえ、界面 $I3$ を平坦に形成した場合に比して、界面 $I2$ を通過して中間層 5 からさらにコンタクト層 7 の側へと向かう光については、第 1 導電層 3 の側へと反射される比率が相対的に高く、界面 $I3$ を通過してコンタクト層 7 の側へと向かう比率が相対的に低くなっている。従って、発光素子 10 は、コンタクト層 7 における光の吸収がさらに抑制される一方で、光出力がより高められたものとなっている。具体的には、発光素子 10 の光出力は、同じ組成の材料を用い、界面 $I1$ 、 $I2$ を平坦に形成した場合に比して、50% 程度高くなる。

40

【0075】

なお、コンタクト層 7 における光の吸収の抑制と、発光素子における光の取り出し効率

50

の向上という効果を良好に得るには、凸部 I 1 2、I 2 2、I 3 2 の比 h/w の値は $1/4 \sim 1/2$ 程度であるのが好適である。 h/w の値が $1/4$ より小さい場合や $1/2$ よりも大きい場合は、界面 I 2 さらには界面 I 3 に向かう光の入射角を相対的に増大させる効果や、界面 I 1 に向かう光の入射角を相対的に低減させる効果は十分に得られない。

【0076】

また、凸部同士の間隔は、 $100\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ 程度であるのが好適である。 1000 nm よりも凸部同士の間隔が大きい場合は、平坦部が相対的に支配的となり、凸部を設けることの効果が十分に得られない。また、 100 nm よりも凸部同士の間隔を小さくしようとする場合、平坦部は少なくなるが、凸部の形成プロセスに高い加工精度が要求される。現実的には、後述するような加工プロセスを用いて凸部同士の間隔を 100 nm 未満にしようすると、平坦部を介さず直接に凸部同士が隣接する箇所が少なからず形成されることで界面 I 1、I 2、I 3 が凹部と凸部が混在するランダム凹凸面となるので、結果として十分な効果が得られない。

10

【0077】

このことは、平坦部をある程度残しつつ部分的に凸部を備えるように発光層の界面を形成することが、コンタクト層 7 における光の吸収の抑制と、発光素子における光の取り出し効率の向上に対して効果的であることを意味している。

【0078】

以上、説明したように、本実施の形態によれば、発光層と隣接層との界面に、p 型層の側から n 型層の側に向かう凸部を設けることで、層組成が同じであるにも関わらず、従来よりも光出力の高い発光素子を実現される。

20

【0079】

< 発光素子の作製方法 >

次に、本実施の形態に係る発光素子 10 の作製方法の一例を示す。ここでは、発光層 4 を $Al_{y1}Ga_{z1}N$ ($0 < y1 < 1$ 、 $0 < z1 < 1$ 、 $y1 + z1 = 1$) で形成し、下地層 2 と第 1 導電層 3 とを $Al_{y2}Ga_{z2}N$ ($y1 < y2 \leq 1$ 、 $0 < z2 < z1$ 、 $y2 + z2 = 1$) で形成し、中間層 5 を $Al_{w1}Ga_{1-w1}N$ ($0.8 \leq w1 \leq 1$) で形成し、クラッド層 6 a を $B_{x3}Al_{y3}Ga_{z3}N$ ($0 < x3 < 1$ 、 $y1 < y3 \leq 1$ 、 $0 < z3 < 1$ 、 $x3 + y3 + z3 = 1$) で形成し、キャリア供給層 6 b を $Al_{y4}Ga_{z4}N$ ($0.1 < y4 < y3$ 、 $0 < z4 < 1$ 、 $y4 + z4 = 1$) で形成し、コンタクト層 7 を GaN で形成する場合について説明する。なお、以下に示す作製方法はあくまで例示であって、必ずしもこれに限られるわけではない。

30

【0080】

まず、C 面単結晶サファイアからなる厚みが数百 μm 程度の単結晶基材 1 a を用意し、その上に、MOCVD 装置によって、数 μm 程度の厚みの AlN 層を表面層 1 b としてエピタキシャル成長させる。これによって基板 1 が得られる。なお、上述したように、サファイアや SiC などの単結晶基材をそのまま基板 1 として用いてもよい。

【0081】

引き続き、MOCVD 装置を用いて、基板 1 の上に下地層 2 および第 1 導電層 3 を次のように順次にエピタキシャル成長させる：

40

(1) 下地層 2 を数百 nm 程度の厚みに形成する；

(2) 第 1 導電層 3 を、Si 原子濃度が $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 程度となるように Si をドーピングしつつ、 $1\ \mu\text{m}$ 程度の厚みに形成する。

【0082】

第 1 導電層 3 が形成されると、この時点までで得られた積層構造体をいったん MOCVD 装置から取り出す。そして、第 1 導電層 3 の表面 3 a に、界面 I 1 の凸部 I 1 2 となる窪み 3 b を形成する処理を行う。図 6 は、窪み 3 b の形成およびこれに引き続く層形成の様子を模式的に示す図である。

【0083】

まず、第 1 導電層 3 の表面 3 a の上に、従来公知のフォトリソグラフィープロセスとフ

50

ッ化水素（HF）溶液によるエッチングにより、図6（a）に示すような多数の開口部101を有するSiO₂マスク100を形成する。図7は、SiO₂マスク100の上面図である。なお、図6および図7に示すSiO₂マスク100における開口部101の形成態様はあくまで例示であって、開口部の数、配置位置、間隔などの種々の形成要件は適宜に定められる。すなわち、図7においては開口部101が正方格子状に形成されているが、これはあくまで例示に過ぎない。

【0084】

その後、水酸化カリウム（KOH）溶液でウェットエッチングを行う。これにより、SiO₂マスク100の開口部101の直下の部分においてエッチングが進行し、図6（b）に示すように、当該部分に曲面形状を有する窪み3bが形成される。なお、図2に示した凸部I12の幅wおよび高さhがそれぞれ、窪み3bの幅および深さに相当する。SiO₂マスク100の開口部のサイズやKOH溶液によるウェットエッチングの条件を適宜調整することで、幅wと高さhとを適宜に設定することができる。

10

【0085】

SiO₂マスク100をHF溶液で除去すると、図6（c）に示すように、第1導電層3の表面3aは、窪み3bと平坦部3cとからなる、上述の界面I1に相当する形状となる。

【0086】

第1導電層3に対するエッチングの終了後、再びMOCVD法を用いて、発光層4、中間層5、クラッド層6a、キャリア供給層6b、コンタクト層7となるIII族窒化物層を次のように順次にエピタキシャル成長させる：

20

（3）発光層4を、10nm程度の厚みに形成する；

（4）中間層5を、1nm程度の厚みに形成する；

（5）クラッド層6aを、Mg原子濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度となるようにMgをドーピングしつつ、数十nm程度の厚みに形成する；

（6）キャリア供給層6bを、Mg原子濃度が $3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度となるようにMgをドーピングしつつ、数十nm程度の厚みに形成する；

（7）コンタクト層7を、Mg原子濃度が $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 程度となるようにMgをドーピングしつつ、数百nm程度の厚みに形成する。

【0087】

30

このとき、発光層4および中間層5の厚みは合わせても10nm程度であって窪み3aの深さ（つまりは凸部I12の高さ）hに比して小さいので、図7（d）、（e）に示すように、両層は第1導電層3の表面3aに沿って形成されることになる。これにより、発光層4の表面4aにおいては、窪み3bが存在する位置の直上に窪み4bが形成され、平坦部3cが存在する位置の直上が平坦部4cとなる。同様に、中間層5の表面5aにおいても、窪み3b、4bが存在する位置の直上に窪み5bが形成され、平坦部3c、4cが存在する位置の直上が平坦部5cとなる。結果として、上述のような界面I1、I2、およびI3が形成されることになる。

【0088】

コンタクト層7までを形成した積層構造体に対し、フォトリソグラフィープロセスとRIE法とを用いて、第1導電層3の一部を露出させる。

40

【0089】

次に、クラッド層6a、キャリア供給層6b、およびコンタクト層7におけるMgイオンの活性化処理として、窒素雰囲気中の800の熱処理を数十分間施す。

【0090】

続いて、フォトリソグラフィープロセスと真空蒸着法とを用いて、第1導電層3の露出部分に、カソード電極パッド8となるTi/Al/Ni/Au膜を適宜の厚みにパターニングする。その後、オーミック性接触特性を良好なものとするために、窒素雰囲気中の900以上の温度での熱処理を、好ましくは1000での熱処理を数十秒間施す。通常GaNの場合700程度での熱処理であるが、III族元素のうちAlの濃度が40%

50

以上となる n 型 III 族窒化物材料でオーミック性コンタクトを実現するには、900 以上の温度で熱処理することが好ましい。

【0091】

さらに、フォトリソグラフィープロセスと真空蒸着法とを用いて、コンタクト層 7 の最上面に、アノード電極層 9 a となる Ni/Au 膜をパターニングする。その後、オーム性接触特性を良好なものとするために窒素雰囲気中での 600 の熱処理を数分間施す。

【0092】

さらに、フォトリソグラフィープロセスと真空蒸着法とを用いて、アノード電極層 9 a の上面の一部領域に、アノード電極パッド 9 b となる Ni/Au 膜をパターニングする。

【0093】

以上のプロセスを経ることで、発光素子 10 は作製される。

【0094】

<変形例>

第 1 導電層 3 の表面 3 a に窪み 3 b を形成する方法は、上述の KOH 溶液によるウェットエッチングに限られず、ドライエッチングや機械加工などの手法を用いてもよいし、あるいは第 1 導電層 3 の成長条件を調整して、第 1 導電層 3 の形成過程において直接に窪み 3 b が形成されるようにしてもよい。

【0095】

上述の実施の形態においては、発光層 4 に隣接する第 1 導電層 3 と中間層 5 との双方の界面が、凸部を有するようにしているが、いずれか一方の界面にのみ凸部が設けられる態様であってもよい。係る場合においても、双方の界面がともに平坦な場合に比べると、光出力は向上する。また、中間層 5 とクラッド層 6 a との界面が凸部を有することは、必須の態様ではない。

【0096】

上述の実施の形態においては、基板の上に n 型層、発光層、p 型層をこの順に形成するとともに、発光層と隣接層との界面に p 型層の側から n 型層の側に向けて突出する凸部を形成している。これに代わり、基板の上に p 型層、発光層、n 型層をこの順に形成するようにしてもよい。この場合も、発光層と隣接層との界面に p 型層の側から n 型層の側に向けて突出する凸部を形成することで、上述の実施の形態と同様の効果が得られる。

【実施例】

【0097】

(実施例 1)

本実施例では、上述の実施の形態にて示した手順で 3 種類の発光素子 10 を作製し、その特性を評価した。具体的には、凸部 I 12 (窪み 3 b) の幅 w と高さ h との比 h/w の値を $1/4$ 、 $1/3$ 、 $1/2$ の 3 水準に違えたほかは、同一の手順にてそれぞれの発光素子 10 を作製した。

【0098】

まず、厚みが $400 \mu\text{m}$ の単結晶 C 面サファイアを単結晶基材 1 a として用意し、その上に、MOCVD 装置を用いて表面層 1 b としての AlN 層を $1 \mu\text{m}$ の厚みにエピタキシャル成長させることで基板 1 を得た。

【0099】

次いで、基板 1 の上に $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ からなる層を $0.5 \mu\text{m}$ の厚みにエピタキシャル成長させることによって下地層 2 を形成し、続けて、Si 原子濃度が $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度となるように Si をドーピングしつつ、 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ からなる層を $1 \mu\text{m}$ の厚みにエピタキシャル成長させることによって、第 1 導電層 3 を形成した。

【0100】

その後、ここまでで得られた積層構造体を MOCVD 装置から取り出し、フォトリソグラフィープロセスと HF 溶液によるエッチングにて正方格子状に多数の開口部 101 を有する SiO_2 マスク 100 を形成した。 SiO_2 マスク 100 におけるそれぞれの開口部 101 のサイズは 100nm とし、開口部 101 同士の間隔は 200nm とした。

10

20

30

40

50

【0101】

続いて、窪み3bを形成するために、KOH溶液によるエッチングを行った。エッチングは、窪み3bの幅wと高さhの比 h/w が上述の3水準のいずれかとなるようにした。 $h/w = 1/4$ の場合であれば、代表的な幅wと高さhの値は、それぞれ200nm、50nmである。

【0102】

KOHエッチングが終了すると、再びMOCVD装置を用い、発光層4、中間層5、クラッド層6a、キャリア供給層6b、およびコンタクト層7となるIII族窒化物層を順次にエピタキシャル成長させた。

【0103】

具体的には、発光層4としては、 $Al_{0.49}Ga_{0.51}N$ からなる層を10nmの厚みに形成した。中間層5としては、 AlN からなる層を1nmの厚みに形成した。クラッド層6aとしては、Mg原子濃度が $1 \times 10^{19}/cm^3$ 程度となるようにMgをドーピングしつつ、 $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ からなる層を25nmの厚みに形成した。キャリア供給層6bとしては、Mg原子濃度が $3 \times 10^{19}/cm^3$ 程度となるようにMgをドーピングしつつ、 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ からなる層を25nmの厚みに形成した。コンタクト層7としては、Mg原子濃度が $1 \times 10^{20}/cm^3$ 程度となるようにMgをドーピングしつつ、 GaN からなる層を0.2 μm の厚みに形成した。

【0104】

得られた積層構造体に対し、フォトリソグラフィープロセスとRIE法とを用い、第1導電層3となる $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 層の一部を露出させた。なお、その際の実エッチング領域の概略寸法は0.5mm \times 0.5mmとした。

【0105】

次に、クラッド層6aとなる $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 層、キャリア供給層6bとなる $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ からなる層、およびコンタクト層7となる GaN 層におけるMgイオンの活性化処理として、窒素雰囲気中での800の熱処理を25分間行った。

【0106】

続いて、フォトリソグラフィープロセスと真空蒸着法とを用いて、第1導電層3となる $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 層の露出部分に、カソード電極パッド8としてのTi/Al/Ni/Au膜をそれぞれ15nm、70nm、12nm、60nmの厚みでパターンニングした。その後、オーム性接触特性を良好なものとするために、窒素雰囲気中での900の熱処理を30秒間行った。

【0107】

さらに、フォトリソグラフィープロセスと真空蒸着法とを用いて、コンタクト層7となる GaN 層の最上面に、アノード電極層9aとなるNi/Au膜をそれぞれ6nm、12nmの厚みにパターンニングした。その後、オーム性接触特性を良好なものとするために窒素雰囲気中での600の熱処理を30秒間行った。

【0108】

さらに、フォトリソグラフィープロセスと真空蒸着法とを用いて、アノード電極層9aとしてのNi/Au膜の上面の一部領域に、アノード電極パッド9bとなるNi/Au膜をそれぞれ5nm、60nmの厚みにパターンニングした。以上により、発光素子10が得られた。なお、断面TEMにより、得られたそれぞれの発光素子10について、界面I1、I2、I3にそれぞれ凸部I12、I22、I32が形成されていることを確認した。

【0109】

それぞれの発光素子10に対して、アノード電極部9とカソード電極部8の間に正バイアスを加えたところ、いずれも、波長265nmの紫外線発光が確認された。また、入力電流60mA時の基板1側からの光出力は、それぞれ、以下の通りであった。

【0110】

$$h/w = 1/4 \quad 17.8 \mu W;$$

$$h/w = 1/3 \quad 18.2 \mu W;$$

10

20

30

40

50

$$h / w = 1 / 2 \quad 18.5 \mu W.$$

【0111】

(比較例1)

第1導電層3の成長後にウェットエッチングを行うことなく、実施例1と同様の手順で発光層4以降の層形成を引き続いて行うことにより、発光素子20を作製した。図8は、比較例1に係る発光素子20の構造を模式的に示す図である。一様に平坦な表面を有する第1導電層3の上に発光層4以降の各層が形成されることにより、発光素子20においては、発光層4と中間層5との界面および中間層5とクラッド層6aとの界面も、一様に平坦に形成されてなる。

【0112】

得られた発光素子20に対して、アノード電極部9とカソード電極部8の間に正バイアスを加えたところ、波長265nmの紫外線発光が確認された。また、入力電流60mA時の基板1側からの光出力は、11.4μWであった。

【0113】

(比較例2)

窪み3bを形成するためのマスク形成およびエッチング処理を行うことに代えて、第1導電層3まで成長させた後、MOCVD装置から素子を取り出し、第1導電層3の表面3aに対してBCl₃ガスによる反応性イオンエッチング(RIE)を行ったほかは、実施例1と同様の手順で、発光素子30を作製した。図9は、比較例2に係る発光素子30の構造を模式的に示す図である。

【0114】

発光素子30においては、上述のように第1導電層3の表面に対してRIEがなされた結果、第1導電層3と発光層4との界面I31が、凹部と凸部とがランダムに混在する態様にて凹凸が形成されかつ平坦部を有さないランダム凹凸面となっている。なお、図9においては界面I31の凹凸形状を規則的に表現しているが、これは図示の都合に過ぎない。

【0115】

加えて、発光層4および中間層5の厚みが薄いために、発光層4と中間層5との界面I32、および中間層5とクラッド層6aとの界面I33も、同様のランダム凹凸面として形成されてなる。

【0116】

得られた発光素子30に対して、アノード電極部9とカソード電極部8の間に正バイアスを加えたところ、波長265nmの紫外線発光が確認された。また、入力電流60mA時の基板1側からの光出力は、12.1μWであった。

【0117】

(実施例1と比較例1、2との対比)

実施例1および比較例2の結果を、比較例1の結果と対比すると、実施例1では比較例1に比して約50%~60%程度大きな光出力が得られたのに対して、比較例2における光出力は比較例1と大差がなかった。係る結果は、実施例1のように界面I1、I2、およびI3をp型層の側からn型層の側に向けて突出した曲面形状の凸部を有するように形成することが、紫外域の発光における光出力を向上させるうえで有効であり、一方、比較例2のように、界面I1、I2、およびI3をランダム凹凸面として形成しても、光出力の向上の効果は顕著には得られないことがわかる。

【0118】

比較例2に係る発光素子30において、十分な効果が得られなかったのは、界面I1、I2、およびI3をランダム凹凸面として形成した場合、個々の入射位置における入射角は種々様々な値となるが、平均的な入射角が、界面が平坦な場合とあまり違いがないためであると考えられる。

【0119】

(実施例2)

クラッド層 6 a の組成を $B_{0.1}Al_{0.9}N$ とした他は、実施例 1 と同様の手順で発光素子 10 を作製した。なお、 $h/w = 1/4$ とした。

【0120】

得られた発光素子に対して、アノード電極部 9 とカソード電極部 8 の間に正バイアスを加えたところ、波長 265 nm の紫外線発光が確認された。また、入力電流 60 mA 時の基板 1 側からの光出力は、 $21.3 \mu W$ であった。

【0121】

すなわち、クラッド層 6 a の組成を $B_{0.1}Al_{0.9}N$ とすることで、 $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 層にてクラッド層 6 a を形成していた実施例 1 の場合よりもさらに光出力が高くなることが確認された。これは、B を加えたことによりクラッド層 6 a の屈折率が小さくなり、発光層 4 からクラッド層 6 a に向かう光が、中間層 5 とクラッド層 6 a との界面 I 3 で反射される割合が実施例 1 の発光素子 10 よりもさらに増え、結果として、コンタクト層 7 における光の吸収がより低減されたためであると考えられる。

10

【符号の説明】

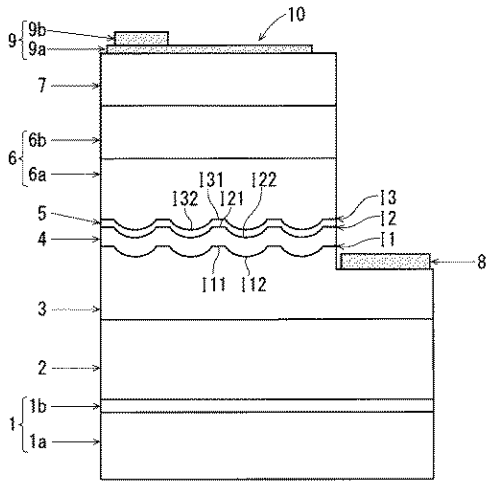
【0122】

- 1 基板
- 1 a 単結晶基材
- 1 b 表面層
- 2 下地層
- 3 第 1 導電層
- 3 a (第 1 導電層の) 表面
- 3 b (第 1 導電層の) 窪み
- 3 c (第 1 導電層の) 平坦部
- 4 発光層
- 5 中間層
- 6 a クラッド層
- 6 b キャリア供給層
- 7 コンタクト層
- 8 カソード電極部
- 9 アノード電極部
- 10、20、30 発光素子
- 100 SiO_2 マスク
- 101 (SiO_2 マスクの) 開口部
- I 1、I 2、I 3 界面
- I 11、I 21、I 31 平坦部
- I 12、I 22、I 32 凸部

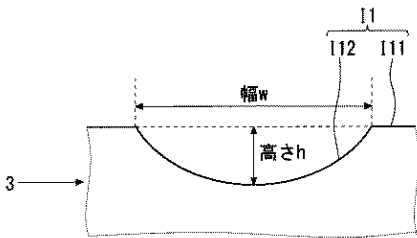
20

30

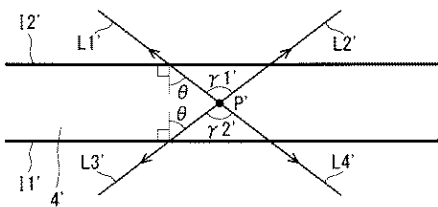
【 図 1 】



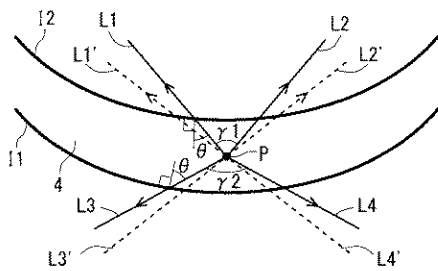
【 図 2 】



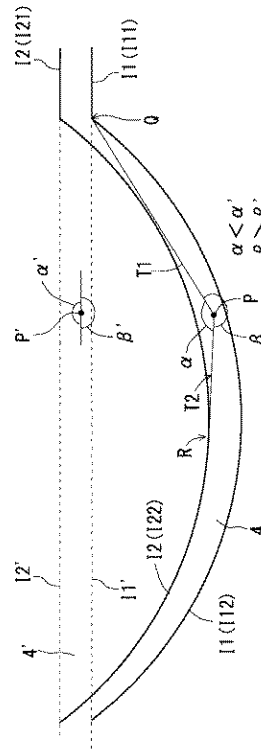
【 図 4 】



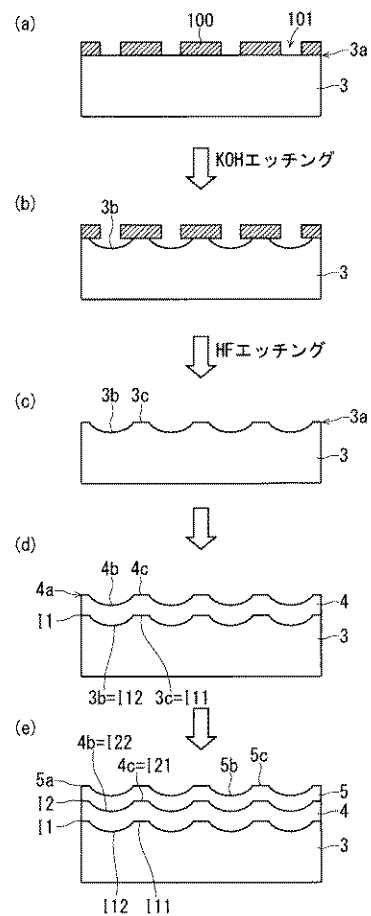
【 図 5 】



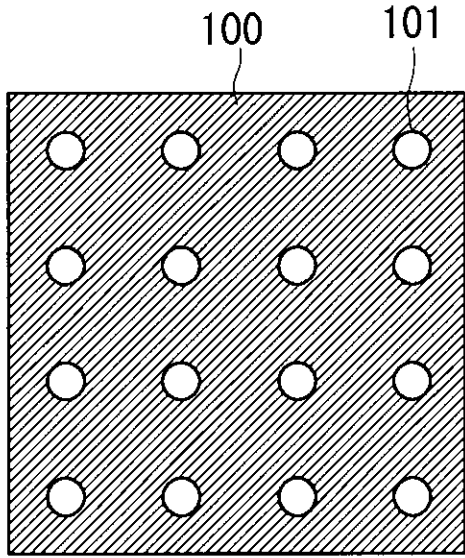
【 図 3 】



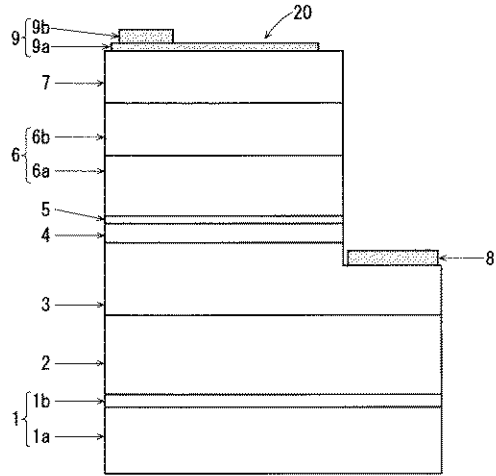
【 図 6 】



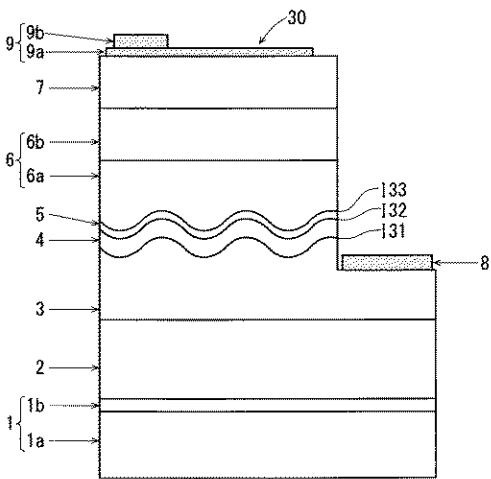
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 三好 実人

愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

(72)発明者 田中 光浩

愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

F ターム(参考) 5F041 AA03 CA40 CA46 CA65 CA74