

(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2012-109624

(P2012-109624A)

(43) 公開日 平成24年6月7日(2012.6.7)

(51) Int.Cl.
H01L 33/32 (2010.01)F I
H01L 33/00 186テーマコード (参考)
5F041

審査請求 有 請求項の数 20 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2012-49330 (P2012-49330)
(22) 出願日 平成24年3月6日 (2012.3.6)
(62) 分割の表示 特願2008-41745 (P2008-41745)
の分割
原出願日 平成20年2月22日 (2008.2.22)

(71) 出願人 000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(74) 代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹
(74) 代理人 100113435
弁理士 黒木 義樹
(74) 代理人 100108257
弁理士 近藤 伊知良
(72) 発明者 秋田 勝史
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内
(72) 発明者 笠井 仁
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内
最終頁に続く

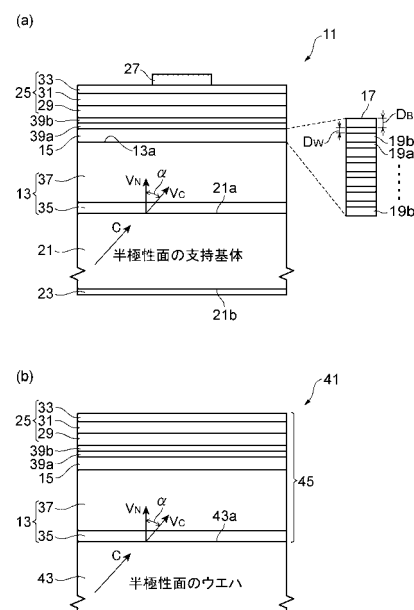
(54) 【発明の名称】 III族窒化物発光素子、及びIII族窒化物系半導体発光素子を作製する方法

(57) 【要約】

【課題】 波長410nm以上の発光ピーク波長を有しており半極性面上に設けられた量子井戸構造の発光層を含むIII族窒化物発光素子を提供する。

【解決手段】 発光層15は、窒化ガリウム系半導体領域13の主面13a上に設けられる。量子井戸構造17は、波長410nm以上の発光ピーク波長を有するように形成されている。井戸層19aの厚さ D_W は4nm以上である。また、井戸層19aの厚さ D_W は10nm以下である。井戸層19aは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x < 1$ 、 x は歪み組成) からなる。窒化ガリウム系半導体領域13の主面13aは、六方晶系III族窒化物の{0001}面または{000-1}面を基準にして15度以上の傾斜角で傾斜している。また、窒化ガリウム系半導体領域13の主面13aは、{0001}面または{000-1}面を基準に85度以下の傾斜角 α で傾斜する。この範囲内の主面13aは半極性面である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III族窒化物支持基体と、
前記III族窒化物支持基体上に設けられた窒化ガリウム系半導体領域と、
波長410nm以上の発光ピーク波長を有するように前記窒化ガリウム系半導体領域の主面上に設けられ交互の配置された井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造の発光層とを備え、

前記井戸層の厚さは4nm以上であると共に、前記井戸層の厚さは10nm以下であり、

前記井戸層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x < 1$ 、 x は歪み組成) からなり、 10

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 $y < x$ 、 y は歪み組成) からなり、

前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上85度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した半極性面である、ことを特徴とするIII族窒化物発光素子。

【請求項 2】

前記主面は $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準に15度以上45度以下の範囲内の角度で傾斜している、ことを特徴とする請求項1に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項 3】

前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の角度で傾斜しており、

前記井戸層のインジウム組成 x は0.4未満 ($0.15 \leq x < 0.4$) である、ことを特徴とする請求項1に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項 4】

前記発光層の前記量子井戸構造は、波長550nm以下の発光ピーク波長を有するように前記主面上に設けられている、ことを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか一項に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項 5】

前記発光層上に設けられたp型窒化ガリウム系半導体領域と、 30

前記p型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた第1の電極とを更に備え、

前記窒化ガリウム系半導体領域はn導電性を有しており、

前記III族窒化物支持基体の主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上85度以下の範囲内の傾斜角で傾斜しており、

前記窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び前記p型窒化ガリウム系半導体領域は、前記III族窒化物支持基体の前記主面上に位置しており、

前記III族窒化物支持基体は、 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$ 、 $0 \leq s+t \leq 1$) からなる、ことを特徴とする請求項1～請求項4のいずれか一項に記載されたIII族窒化物発光素子。 40

【請求項 6】

前記III族窒化物支持基体の裏面に設けられた第2の電極を更に備え、

前記III族窒化物支持基体はn型導電性を有する、ことを特徴とする請求項5に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項 7】

前記傾斜角は、前記III族窒化物支持基体の $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ における a 軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、 m 軸に関して-1度以上+1度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項5または請求項6に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項 8】

前記III族窒化物支持基体の $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ における m 軸の方向に交差する第1及び第2の端面を更に備え、

前記III族窒化物発光素子は半導体レーザを含み、

前記第1及び第2の端面は劈開面を含む、ことを特徴とする請求項5～請求項7のいずれか一項に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項9】

前記傾斜角は、前記III族窒化物支持基体の $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ における m 軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、 a 軸に関して -1 度以上 $+1$ 度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項5または請求項6に記載されたIII族窒化物発光素子。

10

【請求項10】

前記発光層と前記III族窒化物支持基体との間に設けられた $\text{In}_Z\text{Ga}_{1-Z}\text{N}$ ($0 < Z < 0.1$ 、 Z は歪み組成)を更に備える、ことを特徴とする請求項5～請求項9のいずれか一項に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項11】

前記III族窒化物支持基体における貫通転位は c 軸に沿って延びており、

前記III族窒化物支持基体は、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する第1の領域と、前記所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する第2の領域とを有しており、

前記III族窒化物支持基体の前記第1及び第2の領域は前記主面に現れている、ことを特徴とする請求項5～請求項10のいずれか一項に記載されたIII族窒化物発光素子。

20

【請求項12】

前記第2の領域の貫通転位密度は $1 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-2}$ 未満である、ことを特徴とする請求項11に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項13】

III族窒化物系半導体発光素子を作製する方法であって、

{0001}面を基準にして 15 度以上 45 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した主面を有するIII族窒化物ウエハを準備する工程と、

前記III族窒化物ウエハの前記主面上に第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程と、

30

波長 410 nm 以上の発光ピーク波長を有するように前記主面上に設けられた量子井戸構造の発光層を形成する工程と、

前記発光層上に第2導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程とを備え、

前記III族窒化物ウエハは、 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S+T \leq 1$) からなり、

前記発光層を形成する前記工程では、

$\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ ($0.15 \leq X < 0.4$ 、 X は歪み組成)からなる第1の半導体層を第1の温度で成長する工程と、

$\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、 $Y < X$ 、 Y は歪み組成)からなる第2の半導体層を第2の温度で成長する工程とを含み、

40

前記第1の温度は前記第2の温度より低く、前記第1の温度と前記第2の温度との差は 95 度以上である、ことを特徴とする方法。

【請求項14】

前記III族窒化物ウエハは、{0001}面または{000-1}面を基準にして 15 度以上 45 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した軸の方向に成長された六方晶系 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S+T \leq 1$) の結晶からスライスされており、

前記III族窒化物ウエハの前記主面は、研磨処理されていると共に、{0001}面ま

50

たは {000-1} 面を基準にして 15 度以上 45 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準面に沿って延びる、ことを特徴とする請求項 13 に記載された方法。

【請求項 15】

前記 III 族窒化物ウエハにおける貫通転位は c 軸に沿って延びており、

前記 III 族窒化物ウエハは、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する第 1 の領域と、前記所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する第 2 の領域とを有しており、

前記 III 族窒化物ウエハの前記第 1 及び第 2 の領域は前記主面に現れている、ことを特徴とする請求項 13 または請求項 14 に記載された方法。

【請求項 16】

前記第 2 の領域の前記貫通転位密度は、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満である、ことを特徴とする請求項 13～請求項 15 のいずれか一項に記載された方法。

10

【請求項 17】

前記傾斜角は、前記 III 族窒化物ウエハの $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ における a 軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、m 軸に関して -1 度以上 +1 度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項 13～請求項 16 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 18】

前記傾斜角は、前記基板の $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ における m 軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、a 軸に関して -1 度以上 +1 度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項 13～請求項 16 のいずれか一項に記載された方法。

20

【請求項 19】

前記 III 族窒化物ウエハのエッジ上の 2 点の間隔の最大値は 45 mm 以上である、ことを特徴とする請求項 13～請求項 18 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 20】

前記第 1 導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成するに先だって、アンモニアおよび水素を含むガスを供給しながら、前記 III 族窒化物ウエハの前記主面を熱処理する工程を更に備える、ことを特徴とする請求項 13～請求項 19 のいずれか一項に記載された方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、III 族窒化物発光素子、及び III 族窒化物系半導体発光素子を作製する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献 1 には、 InGaN 発光ダイオードが記載されている。この発光ダイオードは、半極性 (11-22) 面 (c 面から a 軸方向に 56° オフ) GaN 基板上に作製された。発光ダイオードは、幅 3 nm の InGaN 井戸層からなる単一量子井戸構造を有する。以下の特性が得られた：青色 (波長 430 nm) で光出力は 1.76 mW であり、外部量子効率が 3.0% であった。緑色 (波長 530 nm) で光出力が 1.91 mW であり、外部量子効率が 4.1% であった。アンバー (波長 580 nm) で光出力が 0.54 mW であり、外部量子効率が 1.3% であった。出射光には [1-100] 方向への偏光が確認された。

40

【0003】

非特許文献 2 には、半導体レーザが記載されている。半導体レーザは、転位密度 $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 以下の半極性 (10-1-1) 面 ({000-1} 面から m 軸方向に 62 度 オフ) GaN 基板上に作製された。半導体レーザは、5 nm の InGaN 井戸層及び 8 nm の GaN 障壁層からなる 5 周期の多重量子井戸構造の発光層を有する。発光波長は 405.9 nm であり、しきい値電流密度 18 kA/cm^2 でレーザ発振が確認された。

【0004】

50

非特許文献 3 には、5 周期の多重量子井戸構造の発光ダイオードが記載されている。この発光ダイオードは、半極性（10-1-1）面の GaN テンプレート、半極性（10-1-3）面の GaN テンプレート上に作製された。半極性（10-1-1）面は {000-1} 面から m 軸の方向に 62 度の角で傾斜しており、半極性（10-1-3）面は {000-1} 面から m 軸の方向に 32 度の角で傾斜している。5 周期の多重量子井戸構造では、InGaIn 井戸層の厚さは 4 nm であり、インジウム組成は 0.14 である。Si ドープ GaN 障壁層の厚さは 15 nm である。半極性（10-1-1）面の GaN テンプレート上の発光ダイオードの発光波長は 439 nm であった。オンウエハにおける光出力は、電流 20 mA で 0.19 mW であり、外部量子効率電流 50 mA で 0.41% であった。

10

【0005】

非特許文献 4 には、5 周期の多重量子井戸構造の発光ダイオードが記載されている。この発光ダイオードは、半極性（10-1-3）面の GaN テンプレート上に作製された。発光ダイオードは、厚さ 4 nm の InGaIn 井戸層と、厚さ 8 nm の GaN 障壁層とを含む。発光波長は、電流 20 mA で 527.1 nm であり、電流 250 mA で 520.4 nm であった。オンウエハにおける光出力は、電流 20 mA において 0.264 mW であり、外部量子効率は電流 20 mA で 0.052% であった。

【0006】

特許文献 1 には、非導電性の基板上に形成された III 族窒化物量子井戸層を含む発光半導体デバイスを作製する方法は記載されている。この III 族窒化物量子井戸層は、ウルツァン型結晶構造の {0001} 方向に対して 10 度以上の角度で傾斜したファセット配向を有するように成長される。傾斜角は、30 度から 50 度の範囲、80 度から 100 度の範囲、130 度から 150 度の範囲であることができる。

20

【0007】

特許文献 2 には、基板上に形成された半導体発光素子が記載されている。半導体発光素子は、{1-100} 面及びこの面から -5 度から +5 度の範囲内のオフ角で傾斜した面、或いは {11-20} 面及びこの面から -5 度から +5 度の範囲内のオフ角で傾斜した面上に形成される。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0008】

【特許文献 1】特開平 10-135576 号公報

【特許文献 2】特開 2003-158297 号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献 1】Japanese Journal of Applied Physics Vol.45, No. 26, 2006, pp. L659-L662

【非特許文献 2】Japanese Journal of Applied Physics Vol.46, No. 19, 2007, pp. L444-L445

【非特許文献 3】Japanese Journal of Applied Physics Vol.44. No. 30 2005 pp. L945-L947 40

【非特許文献 4】Applied Physics Letter Vol. 87. 2005 p.231110

【非特許文献 5】Japanese Journal of Applied Physics Vol.46, No. 7, 2007, pp.L129-L131

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

非特許文献 3、4 では GaN テンプレートが用いられており、非特許文献 1、2、5 では GaN 基板が用いられている。非特許文献 3 を除いて他の非特許文献には、井戸層のインジウム組成が記載されていない。非特許文献 1 では a 軸方向への傾斜面が利用されてお

50

り、非特許文献 2－5 では m 軸方向への傾斜面が利用されている。非特許文献 1、2、5 に記載された発光素子は、小さいサイズの GaN 基板を用いており、大口径の GaN ウエハの使用を指向していない。

【0011】

特許文献 1 は、piezo 分極の影響のみに着目しており、piezo 分極の低減と所望の波長及び発光特性との関係に着目していない。特許文献 2 では所望の発光波長が達成されていない。

【0012】

半極性面の piezo 分極が (0001) 面の piezo 分極に比べて小さいので、井戸層のバンドベンディングによる長波長化が期待できない。故に、非特許文献 1、5 に記載されるような薄い井戸層を含む発光素子では、例えば 410 nm 以上の長波長の発光波長を有する発光素子を形成するために、インジウム組成を高める必要がある。しかしながら、高いインジウム組成の井戸層の結晶品質は低下し、この結果、発光特性が劣化することになる。また、井戸層のインジウム組成が比較的高いとき、井戸層の厚みが大きくなるにつれて、井戸層に内包する歪みが増大する。これ故に、井戸層の厚みとインジウム組成の関係は、量子井戸構造の発光層の発光特性に大きく影響する。

【0013】

本発明は、波長 410 nm 以上の発光ピーク波長を有しており半極性面上に設けられた量子井戸構造の発光層を含む III 族窒化物発光素子を提供することを目的とし、またこの III 族窒化物系半導体発光素子を作製する方法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】

【0014】

本発明の一側面に係る III 族窒化物発光素子は、(a) 主面を有する III 族窒化物支持基体と、(b) 前記 III 族窒化物支持基体の前記主面上に設けられた窒化ガリウム系半導体領域と、(c) 波長 410 nm 以上の発光ピーク波長を有するように前記窒化ガリウム系半導体領域の主面上に設けられ交互の配置された井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造の発光層とを備える。前記井戸層の厚さは 4 nm 以上であると共に、前記井戸層の厚さは 10 nm 以下であり、前記井戸層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x < 1$ 、 x は歪み組成) からなり、前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 $y < x$ 、 y は歪み組成) からなり、前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして 15 度以上 85 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した半極性面である。

【0015】

この III 族窒化物発光素子によれば、15 度未満の傾斜角では半極性面の効果が得られないので、piezo 電界が低減されない。これ故に、発光効率の向上効果が得られず、電流注入にともなう波長のブルーシフトが顕著になる。85 度を超える傾斜角では、InGa_N 井戸層の成長が困難となる。

【0016】

半極性面では piezo 電界が抑制されているので、量子井戸発光層のバンドベンディングによる長波長化が期待できない。このため、厚み 4 nm 未満の井戸層では、波長 410 nm 以上の発光波長を得るためのインジウム組成が非常に高くなり、この結果、InGa_N 井戸層の結晶品質が低下し、発光特性が悪化する。厚さ 10 nm を超える InGa_N 井戸層では、結晶品質が低下し、発光特性が悪化する。井戸層の厚さの範囲を 4 nm 以上 10 nm 以下にするので、井戸層のインジウム組成を 0.15 以上 0.4 以下の範囲にできる。

【0017】

上記の傾斜角の半極性面上に形成される発光素子の膜厚の井戸層は、c 面上に形成される発光素子の井戸層の厚さに比べて厚い 4 nm 以上 10 nm 以下であるけれども、piezo 電界の低減によって、電流の増大に伴う波長の顕著なブルーシフトや発光効率の低下が低減される。

【0018】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の角度で傾斜していることが好ましい。

【0019】

このIII族窒化物発光素子によれば、傾斜角が45度以下であれば、大口径のIII族窒化物ウェハの作製が容易になる。また、この範囲の傾斜角の主面であるとき、InGaN井戸層の成長が比較的容易になる。

【0020】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の角度で傾斜しており、前記井戸層のインジウム組成Xは0.4以下であることが好ましい。

10

【0021】

このIII族窒化物発光素子によれば、この範囲の傾斜角の主面であるとき、InGaN井戸層の成長が比較的容易になる。また、インジウム組成が0.4を超えると、InGaNの結晶品質が低下し、発光特性が悪化する。

【0022】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記発光層の前記量子井戸構造は、波長550nm以下の発光ピーク波長を有するように前記主面上に設けられていることができる。

【0023】

波長410nm以上550nm以下の光を発する窒化物系半導体発光素子では、InGaN井戸層に歪みが加わってピエゾ電界が誘起され、発光効率の低下や発光波長のブルーシフトの増大の原因となっている。このIII族窒化物発光素子によれば、上記の発光波長の範囲において、InGaNの結晶品質を向上させ、発光特性の劣化を小さくできると共に、顕著なブルーシフトを低減できる。

20

【0024】

本発明に係るIII族窒化物発光素子は、前記発光層上に設けられたp型窒化ガリウム系半導体領域と、前記p型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた第2の電極とを更に備えることができる。前記窒化ガリウム系半導体領域はn導電性を有しており、前記III族窒化物支持基体の主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上85度以下の範囲内の傾斜角で傾斜しており、前記窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び前記p型窒化ガリウム系半導体領域は、前記III族窒化物支持基体の前記主面上に位置しており、前記III族窒化物支持基体は $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$ 、 $0 \leq s+t \leq 1$) からなる。

30

【0025】

このIII族窒化物発光素子によれば、テンプレートを用いることなく、傾斜した主面のIII族窒化物支持基体上に発光素子を作製できる。

【0026】

本発明に係るIII族窒化物発光素子は、前記III族窒化物支持基体の裏面に設けられた第1の電極を更に備えることができる。前記III族窒化物支持基体はn型導電性を有することが好ましい。

40

【0027】

このIII族窒化物発光素子によれば、III族窒化物支持基体は導電性を有しているので、基板の裏面に電極を形成できる。このため、III族窒化物支持基体の主面上に成長されるエピタキシャル積層上に、p型及びn型電極の両方を形成するための加工を不要になり、またIII族窒化物発光素子の構造を簡素にできる。

【0028】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記傾斜角は、前記III族窒化物支持基体の $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ におけるa軸の方向に規定され、前記傾斜角のオフ角は、m軸に関して-1度以上+1度以下の範囲にある。

【0029】

50

このIII族窒化物発光素子によれば、 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ からなるIII族窒化物支持基体の主面は $\{0001\}$ 面からa軸方向に傾いているので、m軸方向への傾斜に比べて、 InGaN 井戸層へのインジウム原子の取り込みが大きくなる。このため、より高い成長温度において InGaN 井戸層を成長することが可能となり、この結果、発光特性を向上できる。

【0030】

本発明に係るIII族窒化物発光素子は、前記III族窒化物支持基体の $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ におけるm軸の方向に交差する第1及び第2の端面を更に備えることができる。前記III族窒化物発光素子は半導体レーザを含み、前記第1及び第2の端面は劈開面を含む。

10

【0031】

このIII族窒化物発光素子によれば、 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ からなる基板のヘキ開によって、半導体レーザのための共振器面が形成され、この共振器面はm面である。

【0032】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記傾斜角は、前記III族窒化物支持基体の $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ におけるm軸の方向に規定され、前記傾斜角のオフ角は、a軸に関して -1 度以上 $+1$ 度以下の範囲にあることができる。

【0033】

このIII族窒化物発光素子によれば、傾斜角を規定する方向の管理が容易になる。

【0034】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記発光層と前記III族窒化物支持基体との間に設けられた $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.1$ 、 z は歪み組成)層を更に備えることが好ましい。このIII族窒化物発光素子によれば、量子井戸構造とIII族窒化物ウエハとの間に $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層を設けることによって、量子井戸構造における井戸層の数を減らしても、良好な発光特性が得られる。発光特性の向上のために量子井戸構造における井戸層の数を増やすこともできる。しかしながら、半極性面上に作製された発光層の井戸層のインジウム組成は、c面上に作製された発光層に比べて高いので、発光層における歪みが強くなり InGaN 井戸層の結晶品質が低下することになる。 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層のインジウム組成が 0.1 以上になると、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層の歪みが大きくなり、 InGaN 井戸層の結晶品質が低下して発光特性は悪化する。

30

【0035】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記III族窒化物支持基体における貫通転位はc軸に沿って延びており、前記III族窒化物支持基体は、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する第1の領域と、前記所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する第2の領域とを有しており、前記III族窒化物支持基体の前記第1及び第2の領域は前記主面に現れている。

【0036】

このIII族窒化物発光素子によれば、基板の低転位領域である第2の領域に窒化物系半導体発光素子を作製することによって、発光素子の発光効率、信頼性を向上できる。

【0037】

本発明に係るIII族窒化物発光素子では、前記第2の領域の貫通転位密度は $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満であることができる。このIII族窒化物発光素子の貫通転位密度によれば、実用に十分な信頼性をもつ半導体レーザが得られる。

40

【0038】

本発明の別の側面は、窒化物系半導体発光素子を作製する方法である。この方法は、(a) $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして 15 度以上 45 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した主面を有するIII族窒化物ウエハを準備する工程と、(b) 前記III族窒化物ウエハの前記主面上に第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程と、(c) 波長 410 nm 以上の発光ピーク波長を有するように前記主面上に設けられた量子井戸構造の発光層を形成する工程と、(d) 前記発光層上に第2導電型窒化ガリウム系半導

50

体領域を形成する工程とを備える。前記III族窒化物ウエハは、 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S+T \leq 1$) からなり、前記発光層を形成する前記工程では、 $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ ($0.15 \leq X < 1$ 、 X は歪み組成) からなる第1の半導体層を第1の温度で成長する工程と、 $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、 $Y < X$ 、 Y は歪み組成) からなる第2の半導体層を第2の温度で成長する工程とを含む。前記第1の温度は前記第2の温度より低く、前記第1の温度と前記第2の温度との差は95度以上である。

【0039】

この方法では、半極性面上に窒化物系半導体発光素子を作製する際に、 InGaN 井戸層の成長温度を障壁層の成長温度から95度以上の差で低くすることによって、井戸層におけるインジウム原子の取り込みを増加させることができる。このため、波長410nm以上の発光ピーク波長を有する発光層の形成が容易になる。また、障壁層の成長温度を井戸層の成長温度の95度以上に差で高くすることによって、障壁層の結晶品質を向上させることができる。このため、発光素子の発光効率を向上できる。したがって、量子井戸構造全体としての結晶品質を向上できる。

【0040】

本発明の方法では、前記III族窒化物ウエハは、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した軸の方向に成長された六方晶系 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S+T \leq 1$) の結晶からスライスされており、前記III族窒化物ウエハの前記主面は、研磨処理されていると共に、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準面に沿って延びることができる。この方法によれば、傾斜角で傾斜した主面を有するIII族窒化物ウエハの作製が容易である。

【0041】

本発明の方法では、前記III族窒化物ウエハにおける貫通転位はc軸に沿って延びており、前記III族窒化物ウエハは、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する第1の領域と、前記所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する第2の領域とを有しており、前記III族窒化物ウエハの前記第1及び第2の領域は前記主面に現れている。この方法によれば、基板の低転位領域である第2の領域に窒化物系半導体発光素子を作製することによって、発光素子の発光効率、信頼性を向上させることができる。

【0042】

本発明の方法では、前記第2の領域の前記貫通転位密度は、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満であることができる。このIII族窒化物発光素子の貫通転位密度によれば、実用に十分な信頼性をもつ半導体レーザ及び発光ダイオードといった発光素子が得られる。

【0043】

本発明の方法では、前記傾斜角は、前記基板の $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ におけるa軸の方向に規定され、前記傾斜角のオフ角は、m軸に関して-1度以上+1度以下の範囲にあることが好ましい。この方法によれば、 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ からなる基板をヘキ開する工程によって、半導体レーザのための共振器面を形成できる。この共振器面はm面である。

【0044】

本発明の方法では、前記傾斜角は、前記基板の $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ におけるm軸の方向に規定され、前記傾斜角のオフ角は、a軸に関して-1度以上+1度以下の範囲にあることができる。この方法によれば、傾斜角を規定する方向の管理が容易になる。

【0045】

本発明の方法では、前記III族窒化物ウエハのエッジ上の2点の間隔の最大値は45mm以上であることができる。この方法によれば、半極性面を有する大口径のウエハ上に発光素子を策積できる。

【0046】

本発明の方法は、前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成するに先だって、ア

ンモニアおよび水素を含むガスを供給しながら、前記III族窒化物ウエハの前記主面を熱処理する工程を更に備えることができる。

【0047】

この方法によれば、成長前にIII族窒化物ウエハをアンモニアと水素を含む混合ガス中で熱処理すると平坦な半極性面が得られる。これ故に、さらに良好な発光特性を持つ半導体発光素子が得られる。

【0048】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

10

【0049】

以上説明したように、本発明によれば、波長410nm以上の発光ピーク波長を有しており半極性面上に設けられた量子井戸構造の発光層を含むIII族窒化物発光素子が提供される。また、本発明によれば、この窒化物系半導体発光素子を作製する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物発光素子の構造の一例を概略的に示す図面である。

【図2】図2は、例示的な傾斜方向に傾斜した主面を有する基板とエピタキシャル積層膜とを含むエピタキシャルウエハを示す図面である。

20

【図3】図3は、本実施の形態に係るIII族窒化物発光素子の構造の別の例を示す図面である。

【図4】図4は、発光素子を作製する主要な工程を示す図面である。

【図5】図5(a)は、本実施例におけるLEDの発光波長と電流との関係を示す図面である。図5(b)は、本実施例における発光スペクトルの半値全幅と電流との関係を示す図面である。

【図6】図6は、半導体レーザ素子を作製する主要な工程を示す図面である。

【図7】図7は、半導体レーザ素子のエピタキシャルウエハを示す図面である。

【図8】図8は、ウエハ主面における傾斜角とピーク発光波長との関係を示す図面である。

30

【発明を実施するための形態】

【0051】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、本発明のIII族窒化物発光素子、及び窒化物系半導体発光素子を作製する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0052】

図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物発光素子の構造の一例を概略的に示す図面である。III族窒化物発光素子としては、例えば半導体レーザまたは発光ダイオード(LED)等がある。

40

【0053】

図1(a)を参照すると、III族窒化物発光素子11は、窒化ガリウム系半導体領域13及び発光層15を備える。発光層15は、窒化ガリウム系半導体領域13の主面13a上に設けられている。発光層15は、例えば量子井戸構造17を有しており、量子井戸構造17は、交互の配置された井戸層19a及び障壁層19bを含む。量子井戸構造17は、波長410nm以上の発光ピーク波長を有するように形成されている。井戸層19aの厚さ D_w は4nm以上である。また、井戸層19aの厚さ D_w は10nm以下である。井戸層19aは $In_xGa_{1-x}N$ ($0.15 \leq x$ 、 x は歪み組成) からなる。窒化ガリウム系半導体領域13の主面13aは、六方晶系III族窒化物の $\{0001\}$ 面または $\{0$

50

00-1}面を基準にして15度以上の傾斜角で傾斜している。また、窒化ガリウム系半導体領域13の主面13aは、{0001}面または{000-1}面を基準にして85度以下の傾斜角 α で傾斜している。主面13aは、この範囲内の角度の半極性面である。また、発光層15の主面は半極性面である。井戸層19a及び障壁層19bの主面も半極性面である。主面13aの全体が半極性面である。

【0054】

このIII族窒化物発光素子11によれば、15度未満の傾斜角では半極性面の効果が得られないので、ピエゾ電界が低減されない。これ故に、発光効率の向上効果が得られず、電流注入にともなう波長のブルーシフトが顕著になる。85度を超える傾斜角では、InGa_N井戸層19aの成長が困難となる。

10

【0055】

半極性面ではピエゾ電界が抑制されているので、量子井戸構造の発光層においてバンドベンディングによる長波長化が期待できない。このため、厚み4nm未満の井戸層では、波長410nmの発光波長を得るためのインジウム組成が非常に高くなり、この結果、InGa_N井戸層の結晶品質が低下し、発光特性が悪化する。厚さ10nmを超えるInGa_N井戸層では、結晶品質が低下し、発光特性が悪化する。井戸層の厚さの範囲を4nm以上10nm以下にするので、井戸層のインジウム組成を0.15以上0.4以下の範囲にできる。

【0056】

また、上記の傾斜角の半極性面上に形成される発光素子の膜厚の井戸層は、c面上に形成される発光素子の井戸層の厚さに比べて厚い4nm以上10nm以下であるけれども、ピエゾ電界の低減によって、電流の増大に伴う波長の顕著なブルーシフトや発光効率の低下が低減される。

20

【0057】

また、障壁層19bはIn_YGa_{1-Y}N ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、 $Y < X$ 、Yは歪み組成)からなる。井戸層19aはInGa_Nからなるけれども、障壁層19bはGa_NまたはInGa_Nからなることができる。障壁層19bの厚みD_Bは7nm以上であることが好ましく、良好なキャリア閉じ込めが得られるからである。また、障壁層19bの厚みD_Bは20nm以下であることが好ましく、駆動電圧の上昇を防ぐとともに、膜厚増加に伴う発光層の結晶品質低下を防ぐことができるからである。

30

【0058】

さらに、井戸層19aの厚さは5nm以上であることが好ましく、井戸層のインジウム組成を0.35以下にでき、またより良好な結晶品質が得られるからである。

【0059】

窒化ガリウム系半導体領域13の主面13aは、{0001}面または{000-1}面を基準にして45度以下の範囲内の角度で傾斜していることが好ましい。傾斜角 α が45度以下であれば、大口径のIII族窒化物ウエハの作製が容易になる。また、この範囲の傾斜角の主面であるとき、InGa_N井戸層の結晶成長が比較的容易になる。また、この主面13a上に成長される井戸層19aのインジウム組成Xは、0.4以下であることが好ましい。上記の傾斜角の範囲であるとき、InGa_N井戸層の成長が比較的容易になる。また、インジウム組成が0.4を超えると、InGa_Nの結晶品質が低下し、発光特性が悪化する。さらに、発光層15の量子井戸構造17は、波長550nm以下の発光ピーク波長を有するように主面13a上に設けられていることができる。

40

【0060】

410nm以上550nm以下の光を発する窒化物系半導体発光素子11では、InGa_N井戸層に歪みが加わってピエゾ電界が誘起され、これが、発光効率の低下や発光波長のブルーシフトの増大の原因となっている。このIII族窒化物発光素子11によれば、上記の発光波長の範囲において、InGa_Nの結晶品質を抑制し、発光特性の劣化を抑制できると共に、顕著なブルーシフトの発現を抑制できる。

【0061】

50

III族窒化物支持基体21の主面21aは、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして15度以上85度以下の範囲内の傾斜角で傾斜していることができる。このため、テンプレートを用いることなく、傾斜した主面のIII族窒化物支持基体上に発光素子を作製できる。

【0062】

III族窒化物発光素子11では、窒化ガリウム系半導体領域13はIII族窒化物支持基体21の主面21a上に設けられていることができる。III族窒化物支持基体21は、 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$ 、 $0 \leq s+t \leq 1$) からなることができる。III族窒化物支持基体21の材料は、窒化ガリウム系半導体またはAlN等からなることができ、窒化ガリウム系半導体は、例えばGaN、AlGaN、InGaN等であることができる。III族窒化物発光素子11のための支持基体は、III族窒化物支持基体21のIII族窒化物に限定されることなく、サファイア、酸化ガリウム等からなることができる。

【0063】

III族窒化物発光素子11では、窒化ガリウム系半導体領域13は、例えば第1導電型（例えば、n導電性）を有する。III族窒化物発光素子11は、発光層15に設けられた窒化ガリウム系半導体領域25を更に備えることができ、窒化ガリウム系半導体領域25の表面は半極性面である。窒化ガリウム系半導体領域25は、例えば第2導電型（例えば、p導電性）を有する。第2の電極27が窒化ガリウム系半導体領域25上に設けられている。

【0064】

一実施例では、III族窒化物支持基体21はn導電性を有することができる。III族窒化物支持基体21の裏面21bの全体は半極性面であり、裏面21bには電極23が設けられていることができる。このため、III族窒化物支持基体21の主面21a上に成長されるエピタキシャル積層上に、n型及びp型電極の両方を形成するための加工が不要になり、またIII族窒化物発光素子11の構造を簡素にできる。第1の電極23は、例えば支持基体21の裏面21bにオーミック接触を成すカソードであり、支持基体21の裏面21bの全面を覆っており、また第2の電極27は、例えば窒化ガリウム系半導体領域25にオーミック接触を成すアノードである。

【0065】

III族窒化物発光素子11の主面全面に設けられたバッファ層35を含むことができる。一実施例では、バッファ層35はAlGaNからなることが好ましい。GaN基板上でのエピタキシャル層の異常成長を抑制することができるからである。また、窒化ガリウム系半導体領域13は、発光層15に対するヘテロ障壁を提供するn導電性の窒化ガリウム系半導体層37（例えば、n型クラッド層）を含むことができる。一実施例では、窒化ガリウム系半導体層37は、例えばn型GaNまたはn型AlGaNからなることが好ましい。

【0066】

窒化ガリウム系半導体領域25は、発光層13からの電子をブロックするための電子ブロック層29を含むことができる。電子ブロック層29は、例えばAlGaNからなることができるが、このAlGaNは例えばp導電性を有することができる。また、窒化ガリウム系半導体領域25は、p型キャリアを発光層13に提供する窒化ガリウム系半導体層31（例えば、p型クラッド層）を含むことができる。窒化ガリウム系半導体層31は、例えばp型GaN、p型AlGaN等からなることができる。また、窒化ガリウム系半導体領域25は、p型コンタクト層33を含むことができる。p型コンタクト層33は、例えばp型GaNからなることができる。III族窒化物発光素子11がLEDであるとき、窒化ガリウム系半導体領域25は発光層15から光を吸収しないバンドギャップの材料からなる。

【0067】

必要な場合には、III族窒化物発光素子11は、発光層15と窒化ガリウム系半導体領

域 25 との間に設けられた第 1 及び第 2 の窒化ガリウム系半導体層 39a、39b を含むことができる。第 1 の窒化ガリウム系半導体層 39a は、発光層 13 と窒化ガリウム系半導体領域 25 との間に設けられている。第 1 の窒化ガリウム系半導体層 39a は、例えばアンドープ InGa_{1-x}N からなり、また光ガイドのために設けられている。第 2 の窒化ガリウム系半導体層 39b は、例えばアンドープ GaN からなり、また窒化ガリウム系半導体領域 25 の結晶品質向上のために設けられている。

【0068】

図 1 (b) を参照すると、III 族窒化物発光素子 11 のためのエピタキシャルウエハ 41 が示されている。エピタキシャルウエハ 41 は、III 族窒化物支持基体 21 に対応する II 族窒化物ウエハ 43 と、III 族窒化物ウエハ 43 の主面 43a 上に成長されたエピタキ
10
シヤル積層膜 45 を含む。その主面 43a は、{0001} 面または {000-1} 面を基準にして 15 度以上 85 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜していることができ、或いは、{0001} 面または {000-1} 面を基準にして 15 度以上 45 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜していることができる。III 族窒化物ウエハ 43 のエッジ上の 2 点の間隔の最大値は 45mm 以上であり、例えば 2 インチサイズのウエハが使用可能である。エピタキシヤル積層膜 45 は、III 族窒化物発光素子 11 のためのエピタキシャル成長層に対応する積層構造を含み、この積層構造を示すために、III 族窒化物発光素子 11 のエピタキシャル成長層の参照番号が用いられる。

【0069】

図 1 (a) 及び図 1 (b) に示されたベクトル C は、III 族窒化物支持基体 21 の In_sAl_{1-x}Ga_xN_{1-y}TN_y における c 軸の方向を示している。III 族窒化物支持基体 21
20
における貫通転位は c 軸に沿って延びている。

【0070】

III 族窒化物支持基体 21 は、主面 21a から裏面 21b まで c 軸に沿って延びる第 1 の領域と、該第 1 の領域に沿って延びる第 2 の領域とを含むことができる。このため、II 族窒化物支持基体 21 の第 1 及び第 2 の領域は主面 21a に現れて、それぞれ第 1 及び第 2 のエリアを形成する。また、III 族窒化物支持基体 21 の第 1 及び第 2 の領域は裏面 21b に現れて、それぞれ第 3 及び第 4 のエリアを形成する。第 1 の領域は、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する高転位領域であり、第 2 の領域は所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する低転位領域である。III 族窒化物ウエハ 43 では、第 1 及び
30
第 2 の領域が交互に配列されている。この III 族窒化物発光素子 11 によれば、支持基体 21 の低転位領域である第 2 の領域に窒化物系半導体発光素子を作製することによって、発光素子の発光効率、信頼性を向上させることができる。第 1 及び第 2 の領域は、例えばストライプ状に延びることができる。c 軸に直交する平面においては、第 2 の領域の貫通転位密度は、例えば $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満であることができる。この貫通転位密度によれば、実用に十分な信頼性をもつ半導体レーザ等が得られる。

【0071】

図 2 は、例示的な傾斜方向に傾斜した主面を有する基板とエピタキシャル積層膜とを含むエピタキシャルウエハを示す図面である。図 2 を参照すると、傾斜した c 面に沿って延びる参照面 R_{C1} が示されている。参照面 R_{C1} 上において、六方晶系の結晶軸 S が示さ
40
れている。軸 a₁、a₂、a₃ が参照面 R_{C1} 内において規定されており、軸 a₁、a₂、a₃ は互いに 120 度の角度を成す。軸 c が参照面 R_{C1} に直交する。破線の矢印 N₁ は、基板 43 の主面 43a の法線を示すベクトルである。この法線ベクトル N₁ は、軸 c に対して角度 α で傾斜している。この実施例では、傾斜の方向は、ベクトル A で示される a₁ 軸の方向である。つまり、傾斜角 α は、III 族窒化物支持基体 21 の In_sAl_{1-x}Ga_xN_{1-y}TN_y における a 軸の方向にとられる。傾斜角 α は、m 軸に関して -1 度以上 +1 度以下の範囲にあることが好ましい。図 2 に示された面 47a、47b は、劈開可能な m 面である。In_sAl_{1-x}Ga_xN_{1-y}TN_y からなる基板のヘキ開により III 族窒化物発光素子 11 を作製するとき、III 族窒化物発光素子 11 は、III 族窒化物支持基体 21 の In_sAl_{1-x}Ga_xN_{1-y}TN_y における（ベクトル M で示される）m 軸の方向に交差する第
50

1 及び第 2 の端面（上記の面 47a、47b に対応する）を有しており。これらの第 1 及び第 2 の端面は半導体レーザのための共振器を形成するために好適である。

【0072】

また、この形態において、 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ からなる III 族窒化物支持基体 21 の主面 21a は $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面から a 軸方向に傾いているので、m 軸方向への傾斜に比べて、 InGaN 井戸層へのインジウム原子の取り込みが大きくなる。このため、m 軸方向への傾斜面における成長温度（例えば摂氏 650 度以上摂氏 750 度以下）より高い成長温度（例えば摂氏 650 度以上摂氏 780 度以下）で、a 軸方向への傾斜面上に InGaN 井戸層を成長することが可能となり、この結果、発光特性を向上できる。

10

【0073】

この実施例の変形例として、a 軸方向への傾斜に替えて、m 軸の方向に傾斜をとることができる。このときも、傾斜角 α は、a 軸に関して -1 度以上 $+1$ 度以下の範囲にあることができる。この III 族窒化物発光素子によれば、傾斜角を規定する方向の管理が容易になる。

【0074】

図 3 は、本実施の形態に係る III 族窒化物発光素子の構造の別の例を示す図面である。II 族窒化物発光素子 11a では、発光層 15a と III 族窒化物支持基体 21 との間に設けられた $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.1$ 、 z は歪み組成) 層 49 を更に備えることが好ましい。 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層 49 のインジウム組成は井戸層 19a のインジウム組成より小さい。この III 族窒化物発光素子 11a によれば、量子井戸構造 17a と n 型窒化ガリウム系半導体領域 13 との間に $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層 49 を設けられている。 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層 49 の主面は半極性面である。発光強度は、量子井戸構造における井戸層の数を増やすことによって向上させることができるけれども、半極性面上に作製された発光層の井戸層 19a のインジウム組成は c 面上に作製された発光層に比べて高いので、発光層内の歪みが強い。このため、 InGaN 井戸層 19a の結晶品質は、c 面上に作製された発光層に比べて低下する傾向にある。量子井戸構造 17a 内の井戸層 19a の数は、量子井戸構造 17 内の井戸層 19a の数に比べて少ない。しかしながら、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層 49 は、量子井戸構造 17a における歪みを低減して、良好な発光特性を提供する。故に、量子井戸構造 17a における井戸層 19a の数を減らすことができる。或いは、井戸層の数を維持したまま、結晶品質を向上できる。

20

30

【0075】

$\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層 49 のインジウム組成が 0.1 以上になると、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層の歪みが大きくなり、 InGaN 井戸層の結晶品質が低下して発光特性は悪化する傾向になる。

【0076】

（実施例 1）

図 4 を参照しながら、発光素子を作製する主要な工程のフロー 100a を説明する。工程 S101 では、 GaN ウエハを準備した。この GaN ウエハは n 導電性を示し、c 面から m 軸の方向に傾斜角 25 度で傾斜した主面を有する。 GaN ウエハは以下のように作製された。2 インチサイズの GaAs ウエハを準備した。(100) 方向に 25 度オフの (111) 面を有する GaAs ウエハ上に、シリコン酸化物からなるストライプ状の絶縁膜マスクを形成した後に、このウエハ上に HVP E 法によって GaN 厚膜を成長した。 GaN 厚膜は、交互に配置された低欠陥密度領域及び高欠陥密度領域を含む。低欠陥密度領域及び高欠陥密度領域の各々は、例えばストライプ状を成す。低欠陥密度領域の貫通転位は c 軸の方向に延びており、その貫通転位密度は、c 面において $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 未満であった、この GaN 厚膜をスライスして GaN 薄板を形成すると共に、この薄板の表面を研磨等の処理をすることによって、鏡面を有する GaN ウエハを作製した。この GaN ウエハは、c 面から m 軸の方向に傾斜角 25 度で傾斜した主面を有していた。

40

【0077】

50

GaNウエハ上に有機金属気相成長法で、以下の手順により青色発光素子を作製した。有機金属気相成長の原料にはトリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、トリメチルインジウム、アンモニア、モノシラン、シクロペンタジエニルマグネシウムを用いた。工程S102では、GaNウエハを成長炉のサセプタ上に配置し、炉内圧力を30kPaにコントロールしながら炉内にアンモニアと水素を導入し、摂氏1050度の基板温度で10分間のサマルクリーニングを行った。その後、一旦成長を中断して摂氏1100度の基板温度に上昇させた後に、工程S103では、n型GaN系半導体領域を成長した。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(24 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルアルミニウム(4.3 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア(0.22 $\text{mol}/\text{分}$)及びモノシランを成長炉に供給して、膜厚50nmのn型Al_{0.12}Ga_{0.88}N層を成長した。次に、成長を一旦中断して、摂氏1150度の基板温度に上昇させた後に、キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(244 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア(0.22 $\text{mol}/\text{分}$)及びモノシランを成長炉に供給して、膜厚2 μm のn型GaN層を成長した。

10

【0078】

次に、工程S104では、以下のように発光層を成長した。まず、成長を一旦中断して、摂氏850度に基板温度を低下させた後に、工程S104-1では、キャリアガスを主に窒素としてトリメチルガリウム(24 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルインジウム(1.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)及びアンモニア(0.27 $\text{mol}/\text{分}$)を成長炉に供給して、厚さ15nmのアンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}N障壁層を成長した。この後に、成長を中断して、摂氏720度に基板温度を低下させ、工程S104-2では、キャリアガスを主に窒素としてトリメチルガリウム(24 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルインジウム(24 $\mu\text{mol}/\text{分}$)及びアンモニア(0.36 $\text{mol}/\text{分}$)を成長炉に供給して、膜厚5nmのIn_{0.30}Ga_{0.70}N井戸層を成長した。工程S104-3では、これらの工程S104-1、S104-2を繰り返して、例えば6層の井戸層を含む量子井戸構造を形成した。

20

【0079】

井戸層の成長のために好適な温度 T_W は、障壁層の成長のために好適な温度 T_B より低く、温度 T_W と温度 T_B との差は95度以上であることが好ましい。この方法では、半極性面上に窒化物系半導体発光素子を作製する際に、InGaN井戸層の成長温度 T_W を障壁層の成長温度 T_B から95度以上の差で低くすることによって、井戸層の成長におけるインジウム原子の取り込みを増加させることができる。このため、波長410nm以上の発光ピーク波長を有する発光層を形成できる。また、障壁層の成長温度を井戸層の成長温度の95度以上に差で高くすることによって、障壁層の結晶品質を向上させることができる。このため、発光素子の発光効率を向上できる。したがって、量子井戸構造全体としての結晶品質を向上できる。障壁層の成長温度を下げすぎると障壁層の結晶品質が悪化するので、温度 T_B は摂氏745度以上であることが好ましい。障壁層の成長温度を上げすぎると障壁層成長中に井戸層の結晶品質が悪化するので、温度 T_B は摂氏900度以下であることが好ましい。また、井戸層の成長温度を下げすぎると井戸層の結晶品質が悪化するので、温度 T_W は摂氏650度以上であることが好ましい。井戸層の成長温度を上げすぎるとInの取り込みが悪くなるので、温度 T_W は摂氏805度以下であることが好ましい。

30

40

必要な場合には、工程S105では、温度 T_B 、キャリアガスを主に窒素として、アンドープGaN層(N2-GaN)を成長することができる。例えば膜厚は3nmで、後の基板温度を上昇する工程での発光層の品質低下を防ぐために成長する。

必要な場合には、工程S106では、温度 T_B よりも高い温度、キャリアガスを主に水素として、アンドープGaN層(HT-GaN)。例えば膜厚は10nmで、後に成長するp型GaN系半導体の結晶品質を向上させるために成長する。

【0080】

次に、再度成長を中断して摂氏1050度に基板温度を上昇した後に、工程S107では、p型GaN系半導体領域を成長した。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリ

50

ウム ($24 \mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルアルミニウム ($2.3 \mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア ($0.22 \text{mol}/\text{分}$) 及びシクロペンタジエニルマグネシウムを成長炉に供給して、膜厚 20nm の p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 電子ブロック層を成長した。この後に、キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム ($99 \mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア ($0.22 \text{mol}/\text{分}$) 及びシクロペンタジエニルマグネシウムを成長炉に供給して、厚さ 25nm の p 型 GaN 層を成長した。この後に、キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム ($67 \mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア ($0.22 \text{mol}/\text{分}$) 及びシクロペンタジエニルマグネシウムを導入し、厚さ 25nm の p 型 GaN コンタクト層を成長した。これによって、LED エピタキシャル構造を含むエピタキシャルウエハが作製された。

【0081】

このエピタキシャルウエハを炉内から取り出した。工程 S108 では、エピタキシャルウエハの p 型 GaN 層上に $400 \mu\text{m}$ 角の半透明 p 側電極 (電極面積: $1.6 \times 10^{-3} \text{cm}^2$) を形成すると共に、 GaN ウエハの裏面に n 側電極を形成して、基板生産物を作製した。この基板生産物は、アレイ状に配列された LED 素子を含む。

【0082】

こうして作製された基板生産物のまま、LED 素子の電気的な特性を測定した。室温でパルス電流印加を行ったところ、ピーク波長 466nm の純青色で発光した。電流値 20mA (電流密度: $12.5 \text{A}/\text{cm}^2$) で、光出力 1.0mW 、外部量子効率 1.6% であった。電流値 200mA (電流密度: $125 \text{A}/\text{cm}^2$) で、光出力 7.0W 、外部量子効率 1.2% であった。基板生産物から LED チップを作製して、これをエポキシ樹脂でモールドし、LED ランプを作製した。この LED ランプでは、電流値 20mA (電流密度: $12.5 \text{A}/\text{cm}^2$) で、ピーク発光波長 466nm であり、光出力が 3.0mW 、外部量子効率が 4.8% であった。

【0083】

上記の作製方法と同様にして、傾斜角 32 度の半極性面を有する GaN ウエハ上に LED 構造を作製すると共に、電極を形成した。

【0084】

図 5 (a) は、本実施例における LED の発光波長と電流との関係を示す図面である。図 5 (b) は、本実施例における発光スペクトルの半値全幅と電流との関係を示す図面である。半極性面上の発光素子の井戸層の厚さは 5nm である。

【0085】

図 5 (a) を参照すると、非極性面の m 面上の発光素子ほどではないが、極性面の c 面上の発光素子に比べて、半極性面上の発光素子のブルーシフトが小さい。半極性面上ではピエゾ電界が抑制されているので、電流の増大に伴うピエゾ電界の遮蔽が原因の発光波長のブルーシフトが小さくなる。

図 5 (b) を参照すると、非極性面の m 面上の発光素子及び極性面の c 面上の発光素子と同程度に、半極性面上の発光素子の半値全幅は小さい。このことから半極性面上で m 面、c 面と同程度の発光層品質が得られることがわかる。

【0086】

(実施例 2)

再び図 4 を参照しながら、発光素子を作製する主要な工程を説明する。本実施例の作製方法では、工程 S103 の後であって工程 S104 に先立って工程 S109 を行う。この GaN ウエハは、c 面から m 軸の方向に傾斜角 25 度で傾斜した主面を有していた。

【0087】

工程 S109 では、n 型 GaN 層上に $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 層を成長した。工程 S104 では、 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 層上に 3 層の井戸層を含む量子井戸構造を形成した。発光層の井戸層及び障壁層は、それぞれ、 5nm 及び 15nm の厚みであった。次いで、実施例 1 と同様に工程を用いて p 型 GaN 系半導体領域を成長して、LED エピタキシャル構造を含むエピタキシャルウエハを作製した。

【0088】

このエピタキシャルウエハを炉内から取り出した。工程 S 1 0 8 では、エピタキシャルウエハの p 型 GaN 層上に 4 0 0 μm 角の半透明 p 側電極を形成すると共に、GaN ウエハの裏面に n 側電極を形成して、基板生産物を作製した。この基板生産物は、アレイ状に配列された LED 素子を含む。

【0089】

こうして作製された基板生産物のまま、LED 素子の電気的な特性を測定した。室温でパルス電流印加を行ったところ、ピーク波長 4 6 6 nm の純青色で発光した。電流値 2 0 mA（電流密度：1 2 . 5 A / cm^2 ）で、光出力 2 . 0 mW、外部量子効率 3 . 2 % であった。電流値 2 0 0 mA（電流密度：1 2 5 A / cm^2 ）で、光出力 1 4 . 0 mW、外部量子効率 2 . 4 % であった。基板生産物から LED チップを作製して、これをエポキシ樹脂でモールドし、LED ランプを作製した。この LED ランプでは、電流値 2 0 mA（電流密度：1 2 . 5 A / cm^2 ）で、ピーク発光波長 4 6 6 nm であり、光出力 6 . 0 mW、外部量子効率 9 . 6 % であった。

【0090】

（実施例 3）

図 6 を参照しながら、半導体レーザ素子を作製する主要な工程を説明する。実施例 1 と同様に作製された GaN ウエハを準備した。この GaN ウエハは c 面から a 軸の方向に傾斜角 2 5 度で傾斜した主面を有していた。GaN ウエハは、交互に配置された低欠陥密度領域及び高欠陥密度領域を含む。低欠陥密度領域及び高欠陥密度領域の各々はストライプ状を成す。低欠陥密度領域の貫通転位は c 軸の方向に延びており、その貫通転位密度は c 面において $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 未満であった。GaN ウエハ上に有機金属気相成長法で以下の手順により半導体レーザ素子を作製した。工程 S 1 0 2 では、GaN ウエハを成長炉のサセプタ上に配置し、炉内圧力を 3 0 kPa にコントロールしながら炉内にアンモニアと水素を導入して、摂氏 1 0 5 0 度の基板温度で 1 0 分間のサマールクリーニングを行った。

【0091】

その後、一旦成長を中断して摂氏 1 1 0 0 度の基板温度に上昇させた、この後に、工程 S 1 1 0 では、n 型 GaN 系半導体クラッド層を成長した。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム（1 1 8 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、トリメチルアルミニウム（5 . 7 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、アンモニア（0 . 2 7 $\text{mol}/\text{分}$ ）及びモノシランを成長炉に供給して、膜厚 2 3 0 0 nm の n 型 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層を成長した。

【0092】

工程 S 1 1 1 では、GaN 系半導体光ガイド層を成長した。この光ガイド層の主面は半極性面である。成長を一旦中断して、温度を摂氏 1 1 0 0 度の基板温度に保ったまま、キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム（9 9 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、アンモニア（0 . 2 2 $\text{mol}/\text{分}$ ）及びモノシランを成長炉に供給して、膜厚 5 0 nm の n 型 GaN 光ガイド層を成長した。次に、成長を一旦中断して、摂氏 8 0 0 度の基板温度に変更した後に、キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム（1 6 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、トリメチルインジウム（0 . 8 7 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、及びアンモニア（0 . 3 6 $\text{mol}/\text{分}$ ）を成長炉に供給して、膜厚 5 0 nm のアンドープ $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 光ガイド層を成長した。

【0093】

次に、工程 S 1 0 4 では、発光層を成長した。成長を一旦中断して、摂氏 8 7 0 度に基板温度を変更した後に、工程 S 1 0 4 - 1 では、キャリアガスを主に窒素としてトリメチルガリウム（2 4 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、トリメチルインジウム（1 . 6 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）及びアンモニア（0 . 2 7 $\text{mol}/\text{分}$ ）を成長炉に供給して、厚さ 1 5 nm のアンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層を成長した。この後に、成長を中断して、摂氏 7 2 0 度に基板温度を低下させ、工程 S 1 0 4 - 2 では、キャリアガスを主に窒素としてトリメチルガリウム（2 4 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）、トリメチルインジウム（2 4 $\mu\text{mol}/\text{分}$ ）及びアンモニア（0 . 3 6 $\text{mol}/\text{分}$ ）を成長炉に供給して、膜厚 5 nm の $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 井戸層を成長した。これらの工程を工程 S 1 0 4 - 3 で繰り返して、3 層の井戸層を含

む量子井戸構造を形成した。キャリアガスを主に窒素とすることにより、InGaN膜中へのインジウムの取り込み効率を上昇させることができる。

【0094】

井戸層の成長のために好適な温度 T_W は、障壁層の成長のために好適な温度 T_B より低く、温度 T_W と温度 T_B との差は95度以上であることが好ましい。この方法では、半極性面上に窒化物系半導体発光素子を作製する際に、InGaN井戸層の成長温度 T_W を障壁層の成長温度 T_B から95度以上の差で低くすることによって、井戸層の成長におけるインジウム原子の取り込みを増加させることができる。このため、波長410nm以上の発光ピーク波長を有する発光層を形成できる。また、障壁層の成長温度を井戸層の成長温度の95度以上に差で高くすることによって、障壁層の結晶品質を向上させることができる。このため、発光素子の発光効率を向上できる。したがって、量子井戸構造全体としての結晶品質を向上できる。

【0095】

次に、再度成長を中断して摂氏800度に基板温度を変更した後に、工程S112では、GaN系半導体光ガイド層を成長した。この光ガイド層の主面は半極性面である。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(15.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルインジウム(0.87 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、及びアンモニア(0.36 $\text{mol}/\text{分}$)を成長炉に供給して、膜厚50nmのアンドープIn_{0.02}Ga_{0.98}N光ガイド層を成長した。次に、成長を一旦中断して、温度を摂氏1050度の基板温度に変更した後に、キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(99 $\mu\text{mol}/\text{分}$)及びアンモニア(0.22 $\text{mol}/\text{分}$)を成長炉に供給して、膜厚50nmのアンドープGaN光ガイド層を成長した。

【0096】

再度成長を中断して摂氏1050度に基板温度を保ったまま、工程S113では、電子ブロック層を成長した。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(24 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルアルミニウム(2.3 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア(0.22 $\text{mol}/\text{分}$)及びシクロペンタジエニルマグネシウムを成長炉に供給して、膜厚20nmのp型Al_{0.15}Ga_{0.85}N電子ブロック層を成長した。

【0097】

この後に、工程S114では、p型クラッド層を成長した。p型クラッド層の表面は半極性面である。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(49 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、トリメチルアルミニウム(4.0 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア(0.27 $\text{mol}/\text{分}$)及びシクロペンタジエニルマグネシウムを成長炉に供給して、厚さ400nmのp型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層を成長した。

【0098】

次いで、工程S115では、p型コンタクト層を成長した。p型コンタクト層の表面は半極性面である。キャリアガスを主に水素としてトリメチルガリウム(34 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、アンモニア(0.22 $\text{mol}/\text{分}$)及びシクロペンタジエニルマグネシウムを導入し、厚さ50nmのp型GaN層を成長した。

【0099】

これによって、半導体レーザエピタキシャル構造を含むエピタキシャルウエハE1が作製された。図7は、半導体レーザ素子のためのエピタキシャルウエハの構造を示す。エピタキシャルウエハE1は、半極性面のGaNウエハ51上に設けられた以下のエピタキシャル多層膜53を含む。エピタキシャル多層膜53は、n型クラッド層55、n側光ガイド層57(n型GaN層57a、アンドープInGa_{0.98}N層57b)、発光層59(InGa_{0.98}N井戸層59a、InGa_{0.98}N障壁層59b)、p側光ガイド層61(アンドープInGa_{0.98}N層61a、アンドープGaN層61b)、電子ブロック層63、p型クラッド層65及びp型コンタクト層67を含む。

【0100】

シリコン酸化膜といった絶縁膜でp型コンタクト層を覆った後に、絶縁膜にストライプ状の窓を形成した。p型コンタクト層及び絶縁膜上に、p側電極(例えば、Ni/Au)

10

20

30

40

50

を形成すると共に、GaNウエハを減厚した後に、減厚したウエハ裏面のn側電極（例えば、Ti/Al/Au）を形成して、基板生産物を作製した。この基板生産物は、アレイ状に配列された半導体レーザ素子を含む。工程S117では、この基板生産物からレーザバーを劈開で形成して、共振器のための端面ミラーを形成した。レーザバーの長さは例えば800μmであった。こうして作製されたレーザバーの電気的な特性を測定した。室温でパルス電流印加を行ったところ、ピーク波長490nmの青緑色でレーザ発振した。

【0101】

発明者らの様々な実験から、更に以下のことが示された。図8は、ウエハ主面における傾斜角とピーク発光波長との関係を示す図面である。測定点P1～P4に示される発光素子は、a軸方向へ傾斜させたウエハ主面上に作製されており、InGaN井戸層の成長温度は摂氏720度である。測定点P5、P6に示される発光素子は、m軸方向へ傾斜させたウエハ主面上に作製されており、InGaN井戸層の成長温度は摂氏720度である。測定点P7～P11に示される発光素子は、a軸方向へ傾斜させたウエハ主面上に作製されており、InGaN井戸層の成長温度は摂氏750度である。

10

【0102】

特性線 W_{a720} 及び W_{a750} を参照すると、井戸層の成長温度の低下に伴って、ピーク発光波長が長波長にシフトしている。故に、井戸層の成長温度を低くすると、インジウムの取り込む量が増大される。

【0103】

特性線 W_{a720} 及び W_{m720} を参照すると、a軸方向への傾斜によってピーク発光波長が長波長にシフトしている。m軸方向への傾斜角に比べてa軸方向への傾斜角を大きくすることによって、長波長の発光波長を得ることができる。

20

測定点 傾斜角 発光波長

P1:	10	539
P2:	32	474
P3:	45	506
P4:	90	524
P5:	25	469
P6:	32	452
P7:	5	490
P8:	10	435
P9:	32	407
P10:	45	410
P11:	90	431

30

である。傾斜角は「度(deg)」単位で表され、発光波長は「nm」単位で表されている。

【0104】

15度以上45度未満の傾斜角を有するGaNウエハ主面上の発光素子では、15度未満の傾斜角のGaNウエハ主面上の発光素子に比べて、ピーク発光波長が短くなった。このため、20度以上45度未満の傾斜角を有するGaNウエハ主面上の発光素子では、ピエゾ電界の影響が低減されていると考えられる。

40

【0105】

また、同じ成長温度でInGaN井戸層を成長するとき、m軸方向にGaNウエハ主面を傾斜させたGaNウエハ上の発光素子のピーク発光波長に比べて、a軸方向にGaNウエハ主面を傾斜させたGaNウエハ上の発光素子のピーク発光波長が長い。a軸方向への傾斜によって、井戸層の成長においてインジウムの取り込みが促進されることが考えられる。

【0106】

III族窒化物ウエハ、特にIII族窒化物ウエハの低転位密度領域に発光素子を作製することによって、結晶品質を向上させることができ、発光素子の発光効率、信頼性を向上させることができる。

50

半極性面上の発光波長 410 nm 以上の発光素子では、発光波長 410 nm 未満の発光素子に比べて、井戸層のインジウム組成が非常に高くなるが、井戸層の厚さの範囲を 4 nm 以上 10 nm 以下とすることにより、井戸層のインジウム組成を 0.15 以上 0.4 以下の範囲にでき、井戸層の結晶品質の低下に伴う発光特性の悪化を抑制することができる。

【0107】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更

10

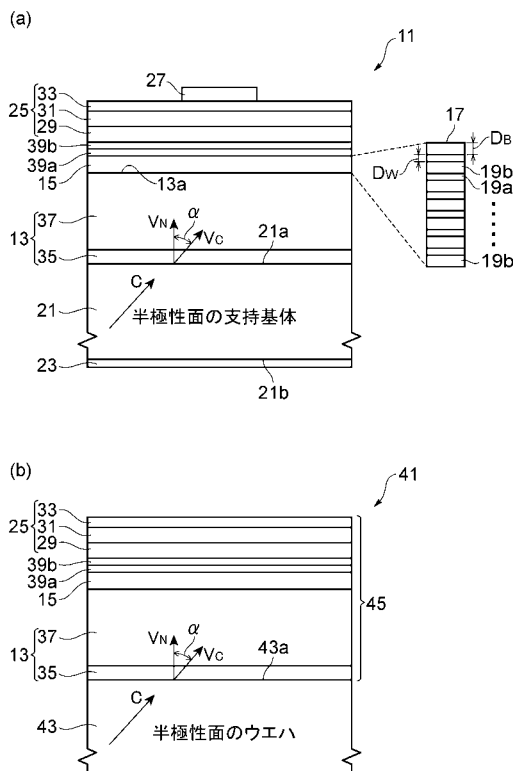
【符号の説明】

【0108】

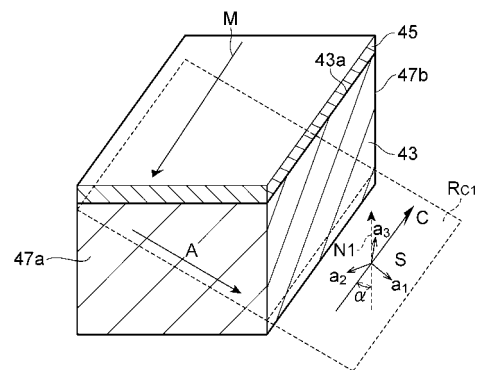
11…III族窒化物発光素子、13…窒化ガリウム系半導体領域、13a…窒化ガリウム系半導体領域主面、15…発光層、17、17a…量子井戸構造、19a…井戸層、19b…障壁層、21…III族窒化物支持基体、21a…III族窒化物支持基体主面、21b…III族窒化物支持基体裏面、23…第1の電極、25…窒化ガリウム系半導体領域、27…第2の電極、29…電子ブロック層、31…窒化ガリウム系半導体層、33…p型コンタクト層、35…バッファ層、37…窒化ガリウム系半導体層、41…エピタキシャルウエハ、43…III族窒化物ウエハ、45…エピタキシャル積層膜、49… $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 層、53…エピタキシャル多層膜

20

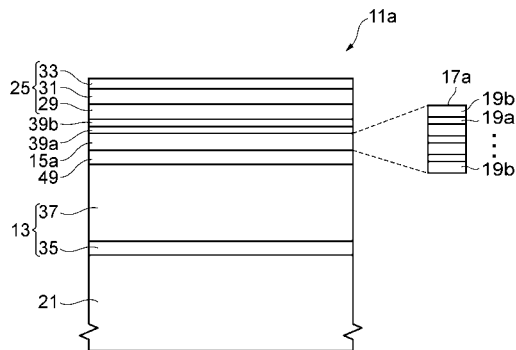
【図1】



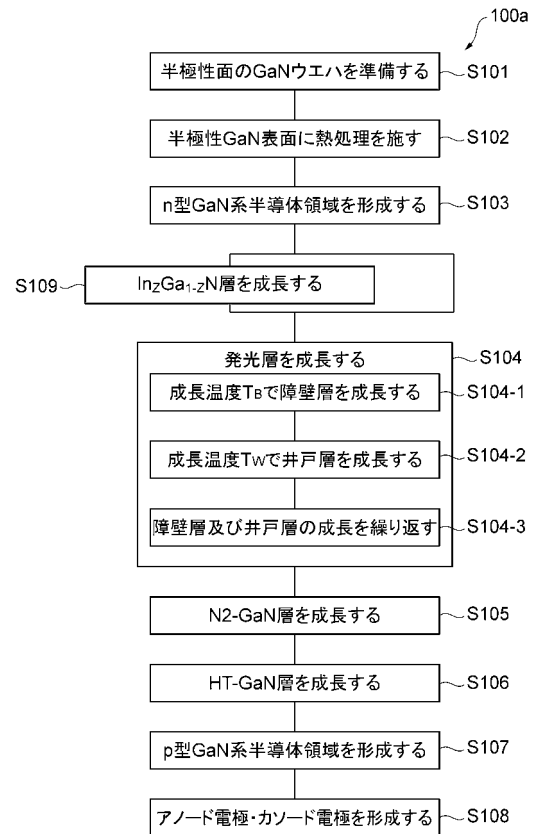
【図2】



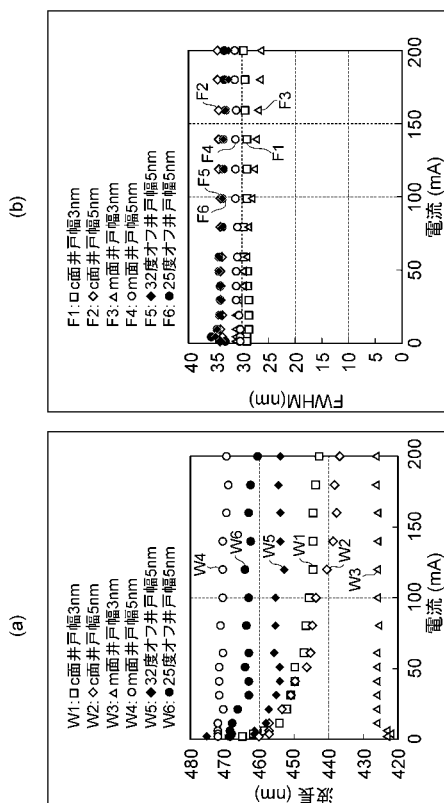
【図 3】



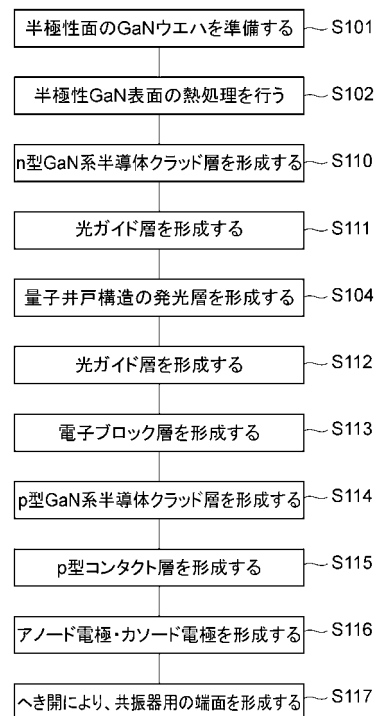
【図 4】



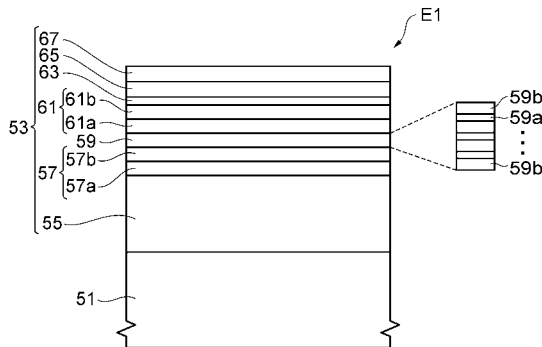
【図 5】



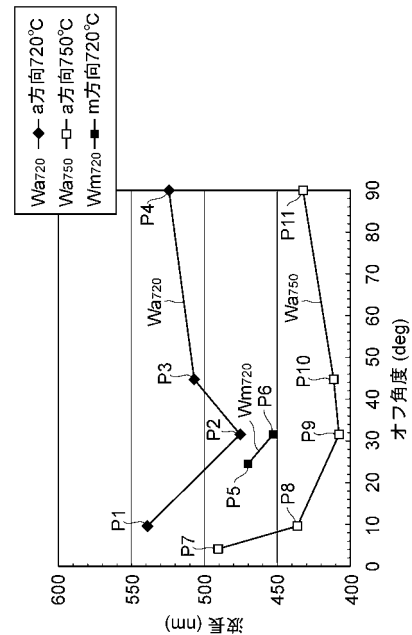
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【手続補正書】

【提出日】平成24年4月2日(2012.4.2)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III族窒化物ウエハと、

前記III族窒化物ウエハ上に設けられた窒化ガリウム系半導体領域と、

波長410nm以上の発光ピーク波長を有するように前記窒化ガリウム系半導体領域の主面上に設けられ交互に配置された井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造の発光層とを備え、

前記井戸層の厚さは4nm以上であると共に、前記井戸層の厚さは10nm以下であり

、

前記井戸層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x < 1$ 、 x は歪み組成) からなり、

前記障壁層は、アンドープ $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 $y < x$ 、 y は歪み組成) からなり、

前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000\bar{1}\}$ 面を基準にして15度以上85度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した半極性面である、ことを特徴とするIII族窒化物発光素子

。

【請求項 2】

前記主面は $\{0001\}$ 面または $\{000\bar{1}\}$ 面を基準に15度以上45度以下の範囲内の角度で傾斜している、ことを特徴とする請求項1に記載されたIII族窒化物発光素子

子。

【請求項 3】

前記主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして 15° 以上 45° 以下の範囲内の角度で傾斜しており、

前記井戸層のインジウム組成 X は 0.4 未満 ($0.15 \leq X < 0.4$) である、ことを特徴とする請求項 1 に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 4】

前記発光層の前記量子井戸構造は、波長 550 nm 以下の発光ピーク波長を有するように前記主面上に設けられている、ことを特徴とする請求項 1～請求項 3 のいずれか一項に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 5】

前記発光層上に設けられた p 型窒化ガリウム系半導体領域と、

前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた第 1 の電極とを更に備え、

前記窒化ガリウム系半導体領域は n 導電性を有しており、

前記 III 族窒化物ウエハの主面は、 $\{0001\}$ 面または $\{000-1\}$ 面を基準にして 15° 以上 85° 以下の範囲内の傾斜角で傾斜しており、

前記窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域は、前記 III 族窒化物ウエハの前記主面上に位置しており、

前記 III 族窒化物ウエハは、 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$ 、 $0 \leq s+t \leq 1$) からなる、ことを特徴とする請求項 1～請求項 4 のいずれか一項に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 6】

前記 III 族窒化物ウエハの裏面に設けられた第 2 の電極を更に備え、

前記 III 族窒化物ウエハは n 型導電性を有する、ことを特徴とする請求項 5 に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 7】

前記傾斜角は、前記 III 族窒化物ウエハの $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ における a 軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、m 軸に関して -1° 以上 $+1^\circ$ 以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項 5 または請求項 6 に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 8】

前記 III 族窒化物ウエハの $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ における m 軸の方向に交差する第 1 及び第 2 の端面を更に備え、

前記 III 族窒化物発光素子は半導体レーザを含み、

前記第 1 及び第 2 の端面は劈開面を含む、ことを特徴とする請求項 5～請求項 7 のいずれか一項に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 9】

前記傾斜角は、前記 III 族窒化物ウエハの $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ における m 軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、a 軸に関して -1° 以上 $+1^\circ$ 以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項 5 または請求項 6 に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 10】

前記発光層と前記 III 族窒化物ウエハとの間に設けられた $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.1$ 、 z は歪み組成) を更に備える、ことを特徴とする請求項 5～請求項 9 のいずれか一項に記載された III 族窒化物発光素子。

【請求項 11】

前記 III 族窒化物ウエハにおける貫通転位は c 軸に沿って延びており、

前記 III 族窒化物ウエハは、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する第 1 の領域と、前記所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する第 2 の領域とを有しており、

前記III族窒化物ウエハの前記第1及び第2の領域は前記主面に現れている、ことを特徴とする請求項5～請求項10のいずれか一項に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項12】

前記第2の領域の貫通転位密度は $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満である、ことを特徴とする請求項11に記載されたIII族窒化物発光素子。

【請求項13】

III族窒化物系半導体発光素子を作製する方法であって、

{0001}面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した主面を有するIII族窒化物ウエハを準備する工程と、

前記III族窒化物ウエハの前記主面上に第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程と、

波長410nm以上の発光ピーク波長を有するように前記主面上に設けられた量子井戸構造の発光層を形成する工程と、

前記発光層上に第2導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成する工程とを備え、

前記III族窒化物ウエハは、 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S+T \leq 1$) からなり、

前記発光層を形成する前記工程では、

$\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ ($0.15 \leq X < 0.4$ 、Xは歪み組成) からなる第1の半導体層を第1の温度で成長する工程と、

$\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、 $Y < X$ 、Yは歪み組成) からなる第2の半導体層を第2の温度で成長する工程とを含み、

前記第1の温度は前記第2の温度より低く、前記第1の温度と前記第2の温度との差は95度以上である、ことを特徴とする方法。

【請求項14】

前記III族窒化物ウエハは、{0001}面または{000-1}面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した軸の方向に成長された六方晶系 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S+T \leq 1$) の結晶からスライスされており、

前記III族窒化物ウエハの前記主面は、研磨処理されていると共に、{0001}面または{000-1}面を基準にして15度以上45度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準面に沿って延びる、ことを特徴とする請求項13に記載された方法。

【請求項15】

前記III族窒化物ウエハにおける貫通転位はc軸に沿って延びており、

前記III族窒化物ウエハは、所定の貫通転位密度以上の貫通転位密度を有する第1の領域と、前記所定の貫通転位密度未満の貫通転位密度を有する第2の領域とを有しており、

前記III族窒化物ウエハの前記第1及び第2の領域は前記主面に現れている、ことを特徴とする請求項13または請求項14に記載された方法。

【請求項16】

前記第2の領域の前記貫通転位密度は、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満である、ことを特徴とする請求項13～請求項15のいずれか一項に記載された方法。

【請求項17】

前記傾斜角は、前記III族窒化物ウエハの $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ におけるa軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、m軸に関して-1度以上+1度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項13～請求項16のいずれか一項に記載された方法。

【請求項18】

前記傾斜角は、前記III族窒化物ウエハの $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ におけるm軸の方向に規定され、

前記傾斜角のオフ角は、a 軸に関して -1 度以上 $+1$ 度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項13～請求項16のいずれか一項に記載された方法。

【請求項19】

前記III族窒化物ウエハのエッジ上の2点の間隔の最大値は45mm以上である、ことを特徴とする請求項13～請求項18のいずれか一項に記載された方法。

【請求項20】

前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域を形成するに先だって、アンモニアおよび水素を含むガスを供給しながら、前記III族窒化物ウエハの前記主面を熱処理する工程を更に備える、ことを特徴とする請求項13～請求項19のいずれか一項に記載された方法。

フロントページの続き

(72)発明者 京野 孝史

大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内

(72)発明者 元木 健作

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 5F041 AA11 CA05 CA23 CA40 CA65