

(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2011-223043

(P2011-223043A)

(43) 公開日 平成23年11月4日(2011.11.4)

(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 12 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2011-173949 (P2011-173949)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成23年8月9日 (2011.8.9)		住友電気工業株式会社
(62) 分割の表示	特願2005-326270 (P2005-326270) の分割	(74) 代理人	100088155 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
原出願日	平成17年11月10日 (2005.11.10)	(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	善積 祐介 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

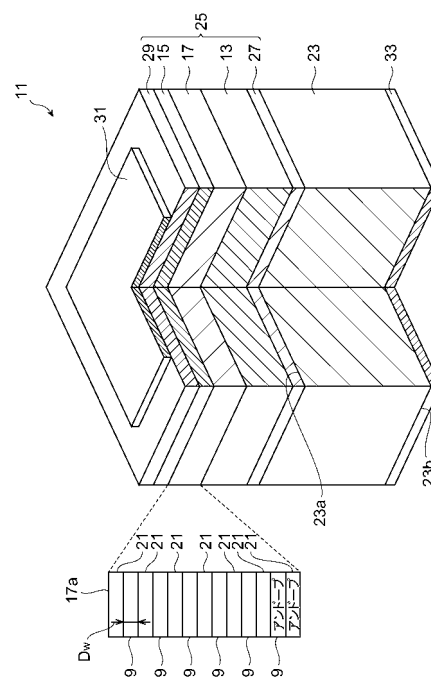
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子、および半導体発光素子を作製する方法

(57) 【要約】

【課題】 高い電流に密度においても外部量子効率の低下が小さい半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 半導体発光素子11では、窒化ガリウム系クラッド層13は、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する。活性領域17は、複数の井戸層19および障壁層21を含む量子井戸構造17aを有しており、また量子井戸構造17aは420nm以上490nm以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられている。井戸層19の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$, x は歪み組成) 領域を含む。障壁層21は、アンドープ $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$, y は歪み組成, $y < x$) 領域を含む。ここで、本実施の形態では、インジウム組成 x は、歪み組成で示されており、緩和組成ではない。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

$1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する第 1 導電型窒化ガリウム系クラッド層と、

第 2 導電型窒化ガリウム系クラッド層と、

複数の井戸層および障壁層を含む量子井戸構造を有しており前記第 1 導電型窒化ガリウム系クラッド層と前記第 2 導電型窒化ガリウム系クラッド層との間に設けられた活性領域と

を備え、

前記量子井戸構造は、 420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられており、

前記井戸層の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) 領域を含み、

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 は歪み組成、 $y < x$) 領域を含む、ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

$1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する第 1 導電型窒化ガリウム系クラッド層と、

第 2 導電型窒化ガリウム系クラッド層と、

複数の井戸層および障壁層を含む量子井戸構造を有しており前記第 1 導電型窒化ガリウム系クラッド層と前記第 2 導電型窒化ガリウム系クラッド層との間に設けられた活性領域と

を備え、

前記量子井戸構造は、波長 420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられており、

前記井戸層の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) 領域を含み、

前記障壁層は、 n 型ドーパントを含む $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 y は歪み組成、 $y < x$) 領域を含む、ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】

前記井戸層の厚さが 4 nm 以上である、ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載された半導体発光素子。

【請求項 4】

主面を有するIII族窒化物基板を更に備え、

前記第 1 導電型窒化ガリウム系クラッド層、前記活性領域および前記第 2 導電型窒化ガリウム系クラッド層を含む半導体領域は、前記III族窒化物基板の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半導体発光素子。

【請求項 5】

前記III族窒化物基板は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である、ことを特徴とする請求項 4 に記載された半導体発光素子。

【請求項 6】

前記III族窒化物基板は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である窒化ガリウム基板である、ことを特徴とする請求項 4 に記載された半導体発光素子。

【請求項 7】

半導体発光素子を作製する方法であって、

420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられた量子井戸構造を有する活性領域を貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の窒化ガリウム系クラッド領域上に形成する工程を備え、

前記井戸層の成膜温度は前記障壁層の成膜温度より小さく、

10

20

30

40

50

前記量子井戸構造の井戸層はアンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) 領域を含み、

前記量子井戸構造の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 は歪み組成) 領域を含む、ことを特徴とする方法。

【請求項 8】

半導体発光素子を作製する方法であって、

420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられた量子井戸構造を有する活性領域を貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の窒化ガリウム系クラッド領域上に形成する工程を備え、

前記井戸層の成膜温度は前記障壁層の成膜温度より小さく、

前記量子井戸構造の井戸層はアンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) 領域を含み、

前記量子井戸構造の障壁層は n 型ドーパントを含む $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 y は歪み組成) 領域を含む、ことを特徴とする方法。

【請求項 9】

前記井戸層の厚さが 4 nm 以上であり、

前記井戸層の厚さが 10 nm 以下である、ことを特徴とする請求項 7 または請求項 8 に記載された方法。

【請求項 10】

前記窒化ガリウム系クラッド領域を III 族窒化物基板上に成長する工程を更に備える、ことを特徴とする請求項 7～請求項 9 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 11】

前記 III 族窒化物基板の貫通転位密度は $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である、ことを特徴とする請求項 10 に記載された方法。

【請求項 12】

前記 III 族窒化物基板は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である窒化ガリウム基板である、ことを特徴とする請求項 10 に記載された方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体発光素子、および半導体発光素子を作製する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、サファイア基板を用いる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が記載されている。特許文献 1 に記載された発明の目的は、厚さが等しい井戸層および障壁層からなる多層膜全体を一つの発光層とすることにより格子不整を緩和して、発光層の結晶性を向上する窒化物半導体発光素子を提供することにある。実施例 1 には、摂氏 800 度において障壁層および井戸層を成長する。井戸層は厚さ 2 nm の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなり、障壁層は 2 nm の $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ からなる。実施例 2 には、摂氏 800 度において障壁層および井戸層を成長する。井戸層は厚さ 5 nm の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなり、障壁層は 5 nm の $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ からなる。

【0003】

特許文献 2 には、サファイア基板を用いる窒化物半導体発光素子が記載されている。特許文献 2 に記載された発明の目的は、緑色 LED のみならず 360 nm 以上の発光波長で高輝度および高出力の窒化物半導体発光素子を提供することにある。実施例 10 の窒化物半導体発光素子は、1 nm 厚のノンドープ $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 井戸層と、1 nm 厚のノンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層とを含む量子井戸構造を有する。実施例 11 の窒化物半導体発光素子は、2.5 nm 厚のノンドープ $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 井戸層と、5 nm 厚のノンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層とを含む量子井戸構造を有する。これらの窒化物半導体発光素子は、415 nm の発光波長を有している。

活性層のインジウム組成を大きくすると結晶性が悪くなり、バンド間発光による520 nm付近の緑色発光を得ることが難しい。しかしながら、上記の窒化物半導体発光素子では、熱膨張係数の小さいクラッド層で熱膨張係数の大きい活性層を挟むことにより活性層に引っ張り応力が加わるので、活性層のバンドギャップエネルギーが本来の値よりも小さい。このため、この発光素子の井戸層を厚くすることはできない。

【0004】

特許文献3には、サファイア基板を用いる窒化物半導体素子が記載されている。特許文献3に記載された発明の目的は、発光出力を低下させることなく、光電変換効率を向上できる窒化物半導体発光素子を提供することにある。実施例には、摂氏800度において障壁層および井戸層を成長する。井戸層は厚さ3 nmの $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ からなり、障壁層は30 nmのSiドープGaNからなる。

10

【0005】

非特許文献1には、青色LED構造が記載されている。この青色LED構造のために、低温GaNバッファ層、ノンドープGaN層、n型GaN層、MQW活性層、p型AlGaN層、p型GaN層が、パターンが形成されたc面サファイア基板上に順にMOCVD法を用いて形成される。MQW構造は、3 nm厚のノンドープ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 井戸層と25 nmのノンドープGaN障壁層によって構成されている。p電極は、メッシュ状のRh/Ir/Ptからなる。青色LED構造はエポキシ樹脂により封止されている。開口比率70%のメッシュ電極から電流20 mA（メッシュ電極直下の電流密度105 A/cm²、活性層において電流密度39 A/cm²）を加えたとき、出力18.8 mWが得られ、外部量子効率34.9%が得られる。しかしながら、メッシュ電極から電流100 mA（活性層における電流密度で195 A/cm²）を加えてとき、出力65 mWが得られ、外部量子効率25%にまで低下する。

20

【0006】

非特許文献2には、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、サファイア基板のc面上に低温で形成された核生成層、Siドープ下地層、InGaN/GaNからなるMQW発光層、p型AlGaN層およびp型GaN層を含む。428 nm、454 nm、501 nm、545 nmの発光波長を示すチップ（面積0.0007 cm²）をフリップチップ実装し、デューティ1%および1 kHzのパルス電流を印加した。最も効率の良い発光波長428 nmにおいて、電流密度12.5 A/cm²（0.0875 A）で電力効率約28%が得られた。しかしながら、電流密度125 A/cm²において約18%まで低下した。

30

【0007】

非特許文献3には、InGaN/GaN系発光ダイオードが記載されている。この文献によれば、InGaN系発光ダイオードにおいて、井戸層の厚みが増加すると、LEDの出力が低下する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平06-268257号公報

40

【特許文献2】特開平08-316528号公報

【特許文献3】特開2000-133883号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】Jpn. J. Appl. Phys. Vol.41 (2002) L1431-L1433

【非特許文献2】phys. stat. sol.(a) Vol.188 No.1 (2001) p.15-21

【非特許文献3】Appl. Phys. Lett. Vol.78 (2001) 2617

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

50

上記の文献に記載された発光素子に加えられる電流の密度が低いとき、発光素子の外部量子効率が高い。しかしながら、電流密度が高くなるにつれて、外部量子効率が低下する。InGaN系活性層を用いた青色発光素子（波長420nm以上490nm以下）では、低い電流密度では高い発光効率が得られている。この理由としては、インジウム組成のゆらぎに起因する局在準位が発光に寄与するので高い発光効率が得られていると考えられている。つまり、InGaN系活性層のインジウム組成の空間的な変化（ゆらぎ）に応じてポテンシャルも空間的に変化する。しかしながら、電流密度が大きくなると上記の局在準位からキャリアが溢れるようになり、局在準位の周辺も発光に寄与ようになる。これ故に、大きな電流密度では、全体としての発光効率が低下する。

【0011】

10

この発光効率の低下を小さくすることについて検討した結果によれば、高電流密度において発光効率の低下を小さくするためには、InGaN層のインジウム組成のゆらぎが小さいことが好ましい。インジウム組成を小さくすると、インジウム組成のゆらぎが小さくなる。ところが、単にインジウム組成を小さくしてインジウム組成のゆらぎを小さくするだけでは、発光波長が所望の波長からシフトしてしまう。

【0012】

所望の波長で発光素子が発光させるためには、インジウム組成を小さくすることに加えて、InGaN井戸層の厚さを大きくすることが必要である。しかしながら、非特許文献3等に記載されているように、(0001)サファイア基板を用いるInGaN系発光ダイオードにおいて井戸層の厚みが増加すると、LEDの出力が低下することが知られている。

20

【0013】

本発明は、このような事情を鑑みてなされたものであり、高い電流に密度においても外部量子効率の低下が小さい半導体発光素子を提供することを目的としており、またこの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】

本発明の一側面によれば、半導体発光素子は、(a) $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する第1導電型窒化ガリウム系クラッド層と、(b) 第2導電型窒化ガリウム系クラッド層と、(c) 複数の井戸層および障壁層を含む量子井戸構造を有しており前記第1導電型窒化ガリウム系クラッド層と前記第2導電型窒化ガリウム系クラッド層との間に設けられた活性領域とを備え、前記量子井戸構造は、420nm以上490nm以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられており、前記井戸層の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) 領域を含み、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 は歪み組成、 $y < x$) 領域を含む。

30

【0015】

この半導体発光素子によれば、井戸層のIn組成 x が小さいので、In組成のゆらぎに起因した局在準位が井戸層において減少する。局在準位の減少により、活性領域は貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層のIn組成 x を下げると発光波長がシフトするので、このシフトを無しに波長420nm以上490nm以下の波長範囲の光を得るために井戸層を厚くする。しかしながら、井戸層を厚くするとInGaN井戸層の結晶品質が低下する。転位に敏感になることおよび井戸層を厚くすることの影響を小さくするために、貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の下地層上に活性領域を設ける。このため、高電流密度での外部量子効率の低下を抑制できる。

40

【0016】

本発明の別の側面によれば、半導体発光素子は、(a) $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する第1導電型窒化ガリウム系クラッド層と、(b) 第2導電型窒化ガリウム系クラッド層と、(c) 複数の井戸層および障壁層を含む量子井戸構造を有しており前記第1導電型窒化ガリウム系クラッド層と前記第2導電型窒化ガリウム系クラッド層との

50

間に設けられた活性領域とを備え、前記量子井戸構造は、波長420nm以上490nm以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられており、前記井戸層の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成)領域を含み、前記障壁層は、 n 型ドーパントを含む $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 y は歪み組成、 $y < x$)領域を含む。

【0017】

この半導体発光素子によれば、井戸層の In 組成 x が小さいので、 In 組成のゆらぎに起因した局在準位が井戸層において減少する。局在準位の減少により、活性領域は貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層の In 組成 x を下げると発光波長がシフトするので、このシフトを無しに波長420nm以上490nm以下の波長範囲の光を得るために井戸層を厚くする。しかしながら、井戸層を厚くすると InGaN 井戸層の結晶品質が低下する。また、 InGaN 井戸層の厚みを厚くすると、順方向電圧 V_f が上昇する。転位に敏感になることおよび井戸層を厚くすることの影響を小さくするために、貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の下地層上に活性領域を設ける。加えて、順方向電圧 V_f の上昇は、障壁層に Si をドーピングすることにより小さくできる。このため、高電流密度での外部量子効率の低下を抑制できる。

【0018】

本発明に係る半導体発光素子では、前記井戸層の厚さが4nm以上であることが好ましい。また、井戸層の厚さが10nm以下であることが好ましい。

【0019】

この半導体発光素子によれば、 InGaN 井戸層の厚みを厚くすると、高電流密度での外部量子効率の低下が起こりにくくなると考えられる。

【0020】

本発明に係る半導体発光素子は、(d)主面を有するIII族窒化物基板を更に備え、前記第1導電型窒化ガリウム系クラッド層、前記活性領域および前記第2導電型窒化ガリウム系クラッド層を含む半導体領域は、前記III族窒化物基板の前記主面上に設けられている。

【0021】

この半導体発光素子によれば、基板がIII族窒化物半導体からなるので、基板と井戸層の InGaN との格子定数差を小さくすることができ、 InGaN 井戸層の結晶品質の低下を抑えることができる。

【0022】

本発明に係る半導体発光素子では、前記III族窒化物基板は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることが好ましい。この半導体発光素子では、基板の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であると下地層や井戸層の InGaN 結晶に引き継がれる貫通転位の数も少なくなり、 InGaN 井戸層の厚みを大きくしたときも、 InGaN 井戸層の結晶品質の低下を縮小できる。

【0023】

本発明に係る半導体発光素子では、前記III族窒化物基板は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である窒化ガリウム基板であることが好ましい。この半導体発光素子では、窒化ガリウム基板の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であると下地層や井戸層の InGaN 結晶に引き継がれる貫通転位の数も少なくなり、 InGaN 井戸層の厚みを大きくしたときも、 InGaN 井戸層の結晶品質の低下を縮小できる。

【0024】

本発明の更なる別の側面は、半導体発光素子を作製する方法である。この方法は、(a)420nm以上490nm以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられた量子井戸構造を有する活性領域を貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の窒化ガリウム系クラッド領域上に形成する工程を備え、前記井戸層の成膜温度は前記障壁層の成膜温度より小さく、前記量子井戸構造の井戸層はアンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成)領域を含み、前記量子井戸構造の障壁層はアンドープ In

10

20

30

40

50

$Y \text{ Ga}_{1-Y} \text{ N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、 Y は歪み組成) 領域を含む。

【0025】

この方法によれば、井戸層の成膜温度を障壁層の成膜温度より小さくすると共に、井戸層の In 組成を低くすることによって、 In 組成ゆらぎが抑制される。このため、高電流密度での外部量子効率の低下を抑制できる。井戸層の In 組成を低くすると、 In 組成ゆらぎに起因した局在準位の数が増加する。ところが、局在準位の増加により、活性領域は、転位の影響を強く受けるようになる。つまり、活性領域の結晶品質は、活性領域および下地層の貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層の In 組成を下げると、発光波長がシフトしてしまう。このシフトを防ぎ波長 420 nm 以上 490 nm 以下の発光を得るために、井戸層の厚みを増加する必要がある。井戸層を厚くすると InGa N 井戸層の結晶品質が低下する。転位に敏感になることおよび井戸層を厚くすることの影響を小さくするために、下地層の貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下とする。

10

【0026】

本発明の更なる別の側面は、半導体発光素子を作製する方法である。この方法は、(a) 420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられた量子井戸構造を有する活性領域を貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の窒化ガリウム系クラッド領域上に形成する工程を備え、前記井戸層の成膜温度は前記障壁層の成膜温度より小さく、前記量子井戸構造の井戸層はアンドープ $\text{In}_X \text{ Ga}_{1-X} \text{ N}$ ($0 < X < 0.14$ 、 X は歪み組成) 領域を含み、前記量子井戸構造の障壁層は n 型ドーパントを含む $\text{In}_Y \text{ Ga}_{1-Y} \text{ N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、 Y は歪み組成、 $Y < X$) 領域を含む。

20

【0027】

この方法によれば、井戸層の成膜温度を障壁層の成膜温度より小さくすると共に、井戸層の In 組成を低くすることによって、 In 組成ゆらぎが抑制される。このため、高電流密度での外部量子効率の低下を抑制できる。井戸層の In 組成を低くすると、 In 組成ゆらぎに起因した局在準位が増加する。ところが、局在準位の増加により、活性領域は、転位の影響を強く受けるようになる。つまり、活性領域の結晶品質は、活性領域および下地層の貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層の In 組成を下げると、発光波長がシフトしてしまう。このシフトを防ぎ波長 420 nm 以上 490 nm 以下の発光を得るために、井戸層の厚みを増加させる。井戸層を厚くすると InGa N 井戸層の結晶品質が低下する。下地層の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であれば、転位に敏感になることおよび井戸層を厚くすることの影響を小さくできる。また、 InGa N 井戸層の厚みを厚くすると、順方向電圧 V_f が上昇するけれども、障壁層に Si をドーピングすることにより順方向電圧 V_f の増加を小さくすることができる。

30

【0028】

本発明に係る方法では、前記井戸層の厚さが 4 nm 以上であることが好ましく、また井戸層の厚さが 10 nm 以下であることが好ましい。この方法によれば、 InGa N 井戸層の厚みを厚くすると、高電流密度での外部量子効率の低下が起こりにくくなると考えられる。

【0029】

本発明に係る方法は、(b) 前記窒化ガリウム系クラッド領域をIII族窒化物基板上に成長する工程を更に備えることができる。この方法によれば、基板がIII族窒化物半導体からなるので、井戸層の InGa N と基板のIII族窒化物半導体との格子定数差を小さくすることができ、 InGa N 井戸層の結晶品質の低下を抑えることができる。

40

【0030】

本発明に係る方法では、前記III族窒化物基板の貫通転位密度は $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることが好ましい。この方法では、基板の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であると下地層や井戸層の InGa N 結晶に引き継がれる貫通転位の数も少なくなり、 InGa N 井戸層を厚くしても、 InGa N 井戸層の結晶品質への貫通転位の影響を小さくできる。

【0031】

50

本発明に係る方法では、前記III族窒化物基板は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である窒化ガリウム基板であることが好ましい。この方法では、窒化ガリウム基板の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であるので、井戸層のInGaN結晶における貫通転位の数も少なくなり、InGaN井戸層を厚くしたときも、InGaN井戸層の結晶品質の低下が縮小できる。

【0032】

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】

【0033】

以上説明したように、本発明によれば、高い電流に密度においても外部量子効率の低下が小さい半導体発光素子が提供されると共に、この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】

【0034】

【図1】図1は、本実施の形態に係る半導体発光素子を示す図面である。

【図2】図2は本実施の形態に係る半導体発光素子の変形例を示す図面である。

【図3】図3は青色LEDチップAの電流－光出力の特性を示す図面である。

【図4】図4はLEDチップAの電流－外部量子効率の特性を示す図面である。

【図5】図5は青色LEDチップBの電流－光出力特性を示す図面である。

【図6】図6はLEDチップBの電流－外部量子効率特性を示す図面である。

【図7】図7は青色LEDチップCの電流－光出力特性を示す図面である。

【図8】図8はLEDチップCの電流－外部量子効率特性を示す図面である。

【図9】図9は、電流密度 125 A/cm^2 における外部量子効率のインジウム組成に関する依存性を示す図面である。

【図10】図10は、電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率に対する電流密度 125 A/cm^2 における外部量子効率の百分率のインジウム組成に関する依存性を示す図面である。

【図11】図11は、電流密度 125 A/cm^2 における外部量子効率の井戸層の厚みに関する依存性を示す図面である。

【図12】図12は、電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率に対する電流密度 125 A/cm^2 における外部量子効率の百分率の井戸層の厚みに関する依存性を示す図面である。

【図13】図13（A）および図13（B）は本実施の形態に係る半導体発光素子を作製する方法を示す図面である。

【図14】図14（A）および図14（B）は本実施の形態に係る半導体発光素子を作製する方法を示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0035】

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、本発明の半導体発光素子、および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。

【0036】

（第1の実施の形態）

図1は、本実施の形態に係る半導体発光素子を示す図面である。この半導体発光素子は、例えば発光ダイオードであることができる。半導体発光素子11は、第1導電型の窒化ガリウム系クラッド層13と、第2導電型の窒化ガリウム系クラッド層15と、活性領域17とを含む。窒化ガリウム系クラッド層13は、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する。活性領域17は、第1導電型の窒化ガリウム系クラッド層13と第2導電型の

10

20

30

40

50

窒化ガリウム系クラッド層 15 との間に設けられている。活性領域 17 は、複数の井戸層 19 および障壁層 21 を含む量子井戸構造 17a を有しており、また量子井戸構造 17a は 420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられている。井戸層 19 の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) 領域を含む。障壁層 21 は、アンドープ $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$ 、 y は歪み組成、 $y < x$) 領域を含む。ここで、本実施の形態では、インジウム組成 x は、歪み組成で示されており、緩和組成ではない。歪み組成とは結晶が下地結晶の a 軸に格子整合して歪んでいることを仮定した組成であり、緩和組成とは結晶が下地結晶の影響を受けておらず歪んでいないことを仮定した組成である。

【0037】

この半導体発光素子 11 によれば、井戸層 19 の In 組成 ($0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成) が小さいので、 In 組成 x の空間的なゆらぎが抑制され、またこのゆらぎに起因した局在準位の数が少なくなる。しかしながら、局在準位の減少により、活性領域は、むしろ転位の影響を強く受けるようになる。つまり、厚い井戸層 19 の結晶品質は、これまで以上に活性領域 17 および下地層 (例えば、領域 13) の貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層 19 の In 組成 x を下げると、発光波長がシフトしてしまう。このシフトを無しに波長 420 nm 以上 490 nm 以下の波長範囲の光を得るために、井戸層 19 の厚み D_w を厚くする。ところが、井戸層 19 の厚み D_w を厚くすると井戸層 19 の結晶品質が低下する。転位に敏感になることおよび井戸層 19 を厚くすることの影響を小さくするために、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する下地層上に活性領域 17 を設ける。これ故、半導体発光素子 11 の外部量子効率の低下を高電流密度において抑制できる。

【0038】

半導体発光素子 11 では、窒化ガリウム系クラッド層 13 および窒化ガリウム系クラッド層 15 のバンドギャップエネルギーは井戸層 19 のバンドギャップエネルギーより大きい。窒化ガリウム系クラッド層 13 は、例えば GaN 、 AlGaIn からなる。窒化ガリウム系クラッド層 15 は、例えば AlGaIn 、 GaN からなる。

【0039】

多くの青色発光ダイオードでは、井戸層の厚みとして 3 nm 程度を用いているけれども、インジウム組成を値を小さくしているため各井戸層 19 の厚さは 4 nm 以上であることが好ましい。4 nm 以上にすると電流密度を上げたとき外部量子効率の低下を小さくできるという利点がある。また、各井戸層 19 の厚さが 10 nm 以下であることが好ましい。10 nm 以下にすると InGaIn 井戸層の結晶品質が良好になるという利点がある。この半導体発光素子によれば、 InGaIn 井戸層 19 の厚みを厚くすると、厚い InGaIn 井戸層の In 組成のゆらぎが小さくなる一方で、 In 組成のゆらぎによる局在準位の総和は、厚い InGaIn 井戸層の全体で増加する。 In 組成のゆらぎの縮小と共に井戸層の全体での局在準位の増加により、低電流密度での外部量子効率を維持できると共に高電流密度での外部量子効率の低下が起こりにくくなると考えられる。 InGaIn 井戸層 19 の厚み D_w を大きくすると InGaIn 井戸層 19 の結晶品質が低下する可能性があるけれども、下地層の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であるので、 InGaIn 井戸層 19 の結晶品質の低下を抑えることができる。

【0040】

半導体発光素子 11 は、III 族窒化物基板 23 を更に備えることができる。基板が III 族窒化物半導体をからなるので、井戸層 19 の InGaIn と基板 23 との格子定数差を小さくすることができ、 InGaIn 井戸層 19 の結晶品質の低下を抑えることができる。また、III 族窒化物基板 23 は貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることが好ましい。この半導体発光素子 11 では、基板 23 の貫通転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であると下地層や井戸層 19 の InGaIn 結晶に引き継がれる貫通転位の数も少なくなり、 InGaIn 井戸層 19 の厚み D_w を大きくしたときも、 InGaIn 井戸層 19 の結晶品質の低下を縮小できる。III 族窒化物基板 23 は窒化ガリウム基板であることが好ましい。窒化

10

20

30

40

50

ガリウム基板は、貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である窒化ガリウムからなる。この窒化ガリウム上に下地層や井戸層を成長すれば、InGaN結晶に引き継がれる貫通転位の数も少なくなり、InGaN井戸層の結晶品質が良好になる。

【0041】

III族窒化物基板23の表面23a上には、半導体領域25が設けられている。半導体領域25は、窒化ガリウム系クラッド層13、活性領域17および窒化ガリウム系クラッド層15を含んでおり、さらに第1導電型の窒化ガリウム系半導体中間層27と、第2導電型のコンタクト層29とを含む。半導体発光素子11は、第2導電型のコンタクト層29に設けられた第1のオーミック電極31と、基板23の裏面23bに設けられた第2のオーミック電極33とを含む。

10

【0042】

半導体発光素子11の一例として、発光ダイオードは
 窒化ガリウム系クラッド層13： n-GaN (Siドープ)
 窒化ガリウム系クラッド層15： $\text{p-Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N (Mgドープ)}$
 活性領域17の井戸層19： $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ （歪み組成）、5nm
 活性領域17の障壁層21： $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ （歪み組成）、15nm
 窒化ガリウム系半導体中間層27： $\text{n-Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$
 コンタクト層29： p-GaN
 第1のオーミック電極31（アノード）： Ni/Au （半透明電極）
 第2のオーミック電極33（カソード）： Ti/Al
 を含む。

20

【0043】

図2は、本実施の形態に係る半導体発光素子の変形例を示す図面である。半導体発光素子11aは、活性領域37を有している。活性領域37は、複数の井戸層39および障壁層41を含む量子井戸構造37aを有しており、また量子井戸構造37aは420nm以上490nm以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられている。井戸層39の各々は、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成）領域を含む。障壁層41は、 n 型ドーパントを含む $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ （ $0 \leq y \leq 0.05$ 、 y は歪み組成、 $y < x$ ）領域を含む。本実施の形態のインジウム組成 x 、 y は、歪み組成で示されており、緩和組成ではない。半導体領域35は、窒化ガリウム系クラッド層13、活性領域37および窒化ガリウム系クラッド層15を含んでおり、さらに第1導電型の窒化ガリウム系半導体中間層27と、第2導電型のコンタクト層29とを含む。

30

【0044】

この半導体発光素子11aでは、井戸層39のIn組成（ $0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成）を小さくするので、In組成 x の空間的なゆらぎが抑制され、またこのゆらぎに起因した局在準位の数が少なくなる。ところが、局在準位の減少により、活性領域は、むしろ転位の影響を強く受けるようになる。つまり、活性領域37の結晶品質は、これまで以上に、活性領域37および下地層（例えば、領域13）の貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層39のIn組成 x を下げると、発光波長がシフトしてしまう。このシフトを無しに420nm以上490nm以下の波長範囲の光を得るために、井戸層39の厚み D_w を厚くする。しかしながら、井戸層39の厚み D_w を厚くすると井戸層39の結晶品質が低下する。また、InGaN井戸層39の厚みを厚くすると、順方向電圧 V_f が上昇する。転位に敏感になることおよび井戸層39を厚くすることの影響を小さくするために、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下の貫通転位密度を有する下地層上に活性領域37を設けると共に、障壁層41に n 型ドーパント（例えば、Si）をドーピングすることにより順方向電圧 V_f の増加を小さくする。このため、半導体発光素子11aの外部量子効率の低下を高電流密度において抑制できる。

40

【0045】

（実験例1）：好適な例
 有機金属気相成長法を用いて、青色（波長420nm以上490nm以下）発光ダイオード

50

ドを作製する。原料には、トリメチルガリウム (TMGa)、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリメチルインジウム (TMIn)、アンモニア (NH₃)、モノシラン (SiH₄)、シクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) を用いることができる。

(0001) C面を有する窒化ガリウム基板を準備する。窒化ガリウム基板はn導電性を示し、また貫通転位密度は $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ である。有機金属気相成長炉のサセプタ上に窒化ガリウム基板を配置する。次いで、窒化ガリウム基板のサーマルクリーニングを行う。サーマルクリーニングの条件は、炉内圧力 30 kPa に制御しながらアンモニアガス (NH₃) および水素ガス (H₂) を有機金属気相成長炉に供給して、摂氏 1050 度の基板温度で 10 分間の熱処理を行う。

【0046】

続いて、成膜工程を行う。摂氏 1050 度の基板温度および炉内圧力 101 kPa に変更した後に、原料ガス (TMGa、TMAI、NH₃、SiH₄) を用いて、厚さ 50 nm の n 型 Al_{0.12}Ga_{0.88}N 中間層を成長する。炉内圧力 101 kPa を維持すると共に摂氏 1100 度の基板温度に変更した後に、原料ガス (TMGa、NH₃、SiH₄) を用いて、厚さ 2 μm の n 型 GaN バッファ層を成長する。バッファ層の成長速度は、4 μm/h である。次いで、障壁層および井戸層を交互に成長する。障壁層の成長では、101 kPa の炉内圧力を維持すると共に摂氏 900 度の基板温度に変更した後に、原料ガス (TMGa、TMIn、NH₃) を用いて、厚さ 15 nm のアンドープ In_{0.01}Ga_{0.99}N 層を堆積する。井戸層の成長では、101 kPa の炉内圧力を維持すると共に摂氏 800 度の基板温度に変更した後に、原料ガス (TMGa、TMIn、NH₃) を用いて、厚さ 5 nm のアンドープ In_{0.11}Ga_{0.89}N 層を堆積する。井戸層および障壁層の成長は、必要な回数だけ繰り返される。本実施例では、6 周期の量子井戸構造を形成する。上記の井戸層および障壁層は歪み組成で示されており、歪み組成 In_{0.01}Ga_{0.99}N 障壁層および In_{0.11}Ga_{0.89}N 井戸層は、それぞれ、緩和組成 In_{0.02}Ga_{0.98}N 障壁層および In_{0.17}Ga_{0.83}N 井戸層である。多くの場合に緩和組成で表現される。その後、炉内圧力 101 kPa を維持すると共に摂氏 1050 度の基板温度に変更した後に、原料ガス (TMGa、TMAI、NH₃、Cp₂Mg) を用いて、厚さ 20 nm の p 型 Al_{0.12}Ga_{0.88}N クラッド層を成長する。次いで、原料ガス (TMGa、NH₃、Cp₂Mg) を用いて、厚さ 150 nm の p 型 GaN コンタクト層を成長する。これにより LED エピタキシャル基板が完成する。

【0047】

引き続き、有機金属気相成長炉から LED エピタキシャル基板を取り出して、p 型コンタクト層上に半透明電極のアノードを作製する。半透明電極のサイズは、400 μm 角 (電極面積: $1.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$) である。また、窒化ガリウム基板の裏面にカソードのための電極を作製する。そして、500 μm 角の青色 LED チップ A を作製する。

【0048】

図 3 は、この青色 LED チップ A における電流-光出力の特性を示す図面である。図 4 は、青色 LED チップ A における電流-外部量子効率の特性を示す図面である。これらの結果は、青色 LED チップに室温においてパルス電流を印加しながら光出力の測定を行うことにより得られる。これらの測定結果によれば、青色 LED チップ A は、電流 20 mA (電流密度 12.5 A/cm^2) の印加において、ピーク波長 450 nm を有する発光スペクトル (実質的に単一のピーク) を示す。光出力は 4.6 mW であり、外部量子効率は 8.2% である。また、青色 LED チップ A は、電流 200 mA (電流密度 125 A/cm^2) の印加において、ピーク波長 438 nm を有する発光スペクトル (実質的に単一のピーク) を示す。光出力は 34 mW であり、外部量子効率 5.9% である。電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率は、電流密度 125 A/cm^2 における外部量子効率の約 72% である。電流密度 12.5 A/cm^2 における駆動電圧は 3.6 ボルトである。この LED チップ A をエポキシ樹脂で封止して、LED ランプを作製する。この LED ランプは、電流密度 125 A/cm^2 において、438 nm のピーク波長、170 mW

10

20

30

40

50

の光出力、30%の外部量子効率を示す。

【0049】

（実験例2）：薄い井戸層

井戸層の組成および厚みを除いて、実験例1と同様にして、青色発光ダイオードを作製する。井戸層の組成（歪み組成）は $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ （緩和組成では $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.78}\text{N}$ ）からなり、また厚さ3nmを有する。実験例1と同様にして、青色LEDチップBが作製される。図5は、この青色LEDチップBにおける電流－光出力の特性を示す図面である。図6は、青色LEDチップBにおける電流－外部量子効率の特性を示す図面である。なお、参考のために、図5および図6には、青色LEDチップAの電流－光出力特性および電流－外部量子効率特性も示されている。これらの測定結果によれば、青色LEDチップBは、電流20mA（電流密度 $12.5\text{A}/\text{cm}^2$ ）の印加において、ピーク波長448nmを有する発光スペクトル（実質的に単一のピーク）を示す。光出力は4.4mWであり、外部量子効率は7.9%である。また、青色LEDチップBは、電流200mA（電流密度 $125\text{A}/\text{cm}^2$ ）の印加において、ピーク波長439nmを有する発光スペクトル（実質的に単一のピーク）を示す。光出力は28mWであり、外部量子効率は5.0%である。電流密度 $12.5\text{A}/\text{cm}^2$ における外部量子効率は、電流密度 $125\text{A}/\text{cm}^2$ における外部量子効率の約63%である。電流密度 $12.5\text{A}/\text{cm}^2$ における駆動電圧は3.2ボルトである。このLEDチップAをエポキシ樹脂で封止して、LEDランプを作製する。このLEDランプは、電流密度 $125\text{A}/\text{cm}^2$ において、439nmのピーク波長、140mWの光出力、25%の外部量子効率を示す。

【0050】

（実験例3）：サファイア基板

有機金属気相成長法を用いて、青色発光ダイオードを作製する。原料には、トリメチルガリウム（TMGa）、トリメチルアルミニウム（TMAI）、トリメチルインジウム（TMIn）、アンモニア（ NH_3 ）、モノシラン（ SiH_4 ）、シクロペンタジエニルマグネシウム（ Cp_2Mg ）を用いることができる。c面サファイア基板を準備する。有機金属気相成長炉のサセプタ上にサファイア基板を配置する。次いで、サファイア基板上に、GaNバッファ層を作製する。GaNバッファ層は、原料ガス（TMGa、 NH_3 および H_2 ）を有機金属気相成長炉に供給して、摂氏500度の基板温度で成長される。続いて、摂氏1100度の基板温度に変更した後に、原料ガス（TMGa、TMAI、 NH_3 、 SiH_4 ）を用いて成長速度 $4\mu\text{m}/\text{h}$ で厚さ $5\mu\text{m}$ のn型GaNバッファ層を成長する。次いで、障壁層および井戸層を交互に成長する。障壁層の成長では、101kPaの炉内圧力を用いると共に摂氏900度の基板温度に変更した後に、原料ガス（TMGa、TMIn、 NH_3 ）を用いて、厚さ15nmのアンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層を堆積する。井戸層の成長では、101kPaの炉内圧力を用いると共に摂氏800度の基板温度に変更した後に、原料ガス（TMGa、TMIn、 NH_3 ）を用いて、厚さ5nmのアンドープ $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ 層を堆積する。井戸層および障壁層の成長は、必要な回数だけ繰り返される。この例では、6周期の量子井戸構造を形成する。上記の井戸層および障壁層は歪み組成で示されている。その後、摂氏1050度の基板温度に変更した後に、原料ガス（TMGa、TMAI、 NH_3 、 Cp_2Mg ）を用いて、厚さ20nmのp型 $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ クラッド層を成長する。次いで、原料ガス（TMGa、TMAI、 NH_3 、 Cp_2Mg ）を用いて、厚さ150nmのp型GaNコンタクト層を成長する。これによりLEDエピタキシャル基板が完成する。

【0051】

引き続き、有機金属気相成長炉からLEDエピタキシャル基板を取り出して、p型コンタクト層上に半透明電極のアノードを作製する。半透明電極のサイズは、 $400\mu\text{m}$ 角（電極面積： $1.6 \times 10^{-3}\text{cm}^2$ ）である。また、窒化ガリウム基板の裏面にカソードのための電極を作製する。そして、 $500\mu\text{m}$ 角の青色LEDチップCを作製する。

【0052】

図7は、この青色LEDチップCにおける電流－光出力の特性を示す図面である。図8

は、青色LEDチップCにおける電流－外部量子効率の特性を示す図面である。なお、参考のために、図7および図8には、青色LEDチップAの電流－光出力特性および電流－外部量子効率特性も示されている。これらの測定結果によれば、青色LEDチップCは、電流20mA（電流密度 12.5 A/cm^2 ）の印加において、ピーク波長434nmを有する発光スペクトル（実質的に単一のピーク）を示す。光出力は2.0mWであり、外部量子効率は3.4%である。また、青色LEDチップCは、電流200mA（電流密度 125 A/cm^2 ）の印加において、ピーク波長424nmを有する発光スペクトル（実質的に単一のピーク）を示す。光出力は29mWであり、外部量子効率は5.0%である。電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率は、電流密度 125 A/cm^2 における外部量子効率の約68%である。このLEDチップCをエポキシ樹脂で封止して、LEDランプを作製する。このLEDランプは、電流密度 125 A/cm^2 において、438nmのピーク波長、116mWの光出力、20%の外部量子効率を示す。樹脂封止前のLEDチップの光取り出し効率を比較すると、サファイア基板上に作製されたLEDの発光効率は窒化ガリウム基板上に作製されたLEDの発光効率より高い。

10

【0053】

（実験例4）：井戸層の成長温度は障壁層の成長温度と同じ

井戸層の成長温度および障壁層の成長温度を除いて、実験例1と同様にして、青色発光ダイオードを作製する。青色LEDチップDは、電流20mA（電流密度 12.5 A/cm^2 ）の印加において、光出力は1mW以下である。

【0054】

20

（実験例5）：Siドープ障壁層

厚さ15nmの $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 障壁層にSiドープで成長することを除いて、実験例1と同様にして、青色発光ダイオードを作製する。青色LEDチップEの電流－光出力特性、電流－外部量子効率特性および発光波長は、実験例1の青色LEDチップAとほぼ同じである。電流密度 12.5 A/cm^2 における駆動電圧は3.2ボルトである。

【0055】

（実験例6）：低転位サファイアテンプレート

有機金属気相成長法を用いて、青色発光ダイオードを作製する。サファイア基板上に低温バッファ層を成長した後に、窒化ガリウムエピタキシャル層を形成する。この窒化ガリウムエピタキシャル層上に、 SiO_2 からなる選択成長用マスクを形成する。このマスクを用いて有機金属気相成長法により、窒化ガリウムのラテラルオーバー成長を行う。成長された窒化ガリウム領域は、 $1 \times 10^7\text{ cm}^2$ 以下の貫通転位密度を有する領域を含む。実験例5と同様にして、青色発光ダイオードを作製する。 $1 \times 10^7\text{ cm}^2$ 以下の貫通転位密度を有する領域上に、アノード（ $1.6 \times 10^{-3}\text{ cm}^2$ の半透明電極）を作製すると共に、ドライエッチングにより露出されたn-GaN層上にカソード電極を作製する。この青色LEDチップFの電流－光出力特性、電流－外部量子効率特性、発光波長および電流密度 12.5 A/cm^2 における駆動電圧は、実験例5の青色LEDチップEとほぼ同じである。

30

【0056】

40

（実験例7）：SiC基板

有機金属気相成長法を用いて、青色発光ダイオードを作製する。導電性のSiC基板上にAlNバッファ層を成長した後に、窒化ガリウムエピタキシャル層を形成する。この窒化ガリウムエピタキシャル層上に、 SiO_2 からなる選択成長用マスクを形成する。このマスクを用いて有機金属気相成長法により、窒化ガリウムのラテラルオーバー成長を行う。成長された窒化ガリウム領域は、 $1 \times 10^7\text{ cm}^2$ 以下の貫通転位密度を有する領域を含む。実験例5と同様にして、青色発光ダイオードを作製する。成長された窒化ガリウム領域は、 $1 \times 10^7\text{ cm}^2$ 以下の貫通転位密度を有する領域を含む。実験例5と同様にして、青色発光ダイオードを作製する。 $1 \times 10^7\text{ cm}^2$ 以下の貫通転位密度を有する領域上に、アノード（ $1.6 \times 10^{-3}\text{ cm}^2$ の半透明電極）を作製すると共に、SiC基板の

50

裏面にカソード電極を作製する。青色LEDチップGの電流－光出力特性、電流－外部量子効率特性、発光波長および電流密度 12.5 A/cm^2 における駆動電圧は、実験例5の青色LEDチップEとほぼ同じである。

【0057】

（実験例8）：井戸層のインジウム組成依存性

実験例1で用いた作製条件を用いて、インジウム組成の異なる井戸層を有する青色LEDチップを作製する。図9は、電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率のインジウム組成に関する依存性を示す図面である。図10は、電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率に対する電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率の比（百分率）のインジウム組成に関する依存性を示す図面である。図10を参照すると、インジウム組成が小さくなるにつれて、外部量子効率の比が大きくなる。この比の値は、インジウム組成0.14、0.11、0.10、0.09において、それぞれ、63.3%、79.0%、72.3%、82.3%である。インジウム組成0.14での値はほぼ65%であるが、インジウム組成の他の値では65%よりも大きいので、インジウム組成0.14未満の井戸層では好適な特性が得られる。外部量子効率の比65%を基準にする理由は従来の青色LEDの標準的な値だからである。

【0058】

（実験例9）：井戸層の厚み依存性

実験例1で用いた作製条件を用いて、厚みの異なる井戸層を有する青色LEDチップを作製する。図11は、電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率の井戸層の厚みに関する依存性を示す図面である。図12は、電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率に対する電流密度 12.5 A/cm^2 における外部量子効率の比（百分率）の井戸層の厚みに関する依存性を示す図面である。図12を参照すると、井戸層の厚みが大きくなるにつれて、外部量子効率の比が大きくなる。この比の値は、井戸層の厚み3nm、4.5nm、5nm、5.5nmにおいて、それぞれ、63.3%、79.0%、72.3%、82.3%である。井戸層の厚み3nmでの値はほぼ65%であるが、井戸層の他の厚みでは65%よりも大きいので、発明者らの他の実験の結果を勘案して井戸層の厚み4nm以上の井戸層で好適である。

【0059】

（第2の実施の形態）

図13（A）、図13（B）、図14（A）および図14（B）は、本実施の形態に係る半導体発光素子を作製する方法を示す図面である。貫通転位密度 $1 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ 以下のn型の窒化ガリウム基板51を準備する。この窒化ガリウム基板51を有機金属気相成長炉53のサセプタ上に配置する。図13（A）に示されるようにと、有機金属気相成長炉53を用いて、窒化ガリウム基板51上にn型AlGaIn膜55を成長する。AlGaIn膜55上にn型窒化ガリウム系半導体膜57を成長する。窒化ガリウム系半導体膜57に先立ってAlGaIn膜55を堆積すると、窒化ガリウム基板51の表面に比べて、窒化ガリウム系半導体膜57の成長に好適な表面が提供される。窒化ガリウム基板51を用いているので、窒化ガリウム系半導体膜57の貫通転位密度は $1 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ 以下である。

【0060】

図13（B）に示されるように、活性領域59を窒化ガリウム系半導体膜57上に形成する。活性領域59は量子井戸構造を有しており、この量子井戸構造は、420nm以上490nm以下の波長範囲内のピーク波長を有する光を発生するように設けられている。量子井戸構造の井戸層はアンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x < 0.14$ 、 x は歪み組成）領域を含むと共に、量子井戸構造の障壁層はアンドープ $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ （ $0 < y < 0.05$ 、 y は歪み組成）領域を含む。井戸層の成膜温度（例えば、摂氏800度）は障壁層の成膜温度（例えば、摂氏900度）より小さい。井戸層の成膜温度は、例えば、摂氏750度以上であることが好ましく、また井戸層の成膜温度は、例えば、摂氏850度以下であることが好ましい。障壁層の成膜温度は、例えば、摂氏850度以上であるこ

10

20

30

40

50

とが好ましく、また障壁層の成膜温度は、例えば、摂氏950度以下であることが好ましい。

【0061】

なお、量子井戸構造の障壁層として、アンドープ $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、Yは歪み組成) 領域に替えて、n型ドーパントを含む $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$ 、Yは歪み組成、 $Y < X$) 領域を用いることもできる。

【0062】

また井戸層の厚さが4nm以上であることが好ましい。また、井戸層の厚さが10nm以上であることが好ましい。

【0063】

この方法によれば、井戸層の成膜温度を障壁層の成膜温度より小さくすると共に井戸層のIn組成を低くすることによって、In組成ゆらぎが抑制される。井戸層のIn組成を低くすると、In組成ゆらぎに起因した局在準位の数が増加する。ところが、局在準位の増加により、活性領域は、むしろ転位の影響を強く受けるようになる。つまり、活性領域59の結晶品質は、活性領域59および下地層57の貫通転位密度に敏感になる。また、単に井戸層のIn組成を下げると、発光波長がシフトしてしまう。このシフトを防ぎ波長420nm以上490nm以下の発光を得るために、井戸層の厚みを厚くする必要がある。井戸層の厚みを厚くするとInGa_N井戸層の結晶品質が低下する。下地層57の貫通転位密度 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下とするので、転位に敏感になることおよび井戸層を厚くすることの影響を小さくできる。このため、高電流密度での外部量子効率の低下を抑制できる。

【0064】

図14(A)に示されるように、有機金属気相成長炉53を用いて、活性領域59上にp型窒化ガリウム系半導体膜61を成長する。p型窒化ガリウム系半導体膜61は、例えばGa_NまたはAlGa_Nからなることができる。p型窒化ガリウム系半導体膜61およびn型窒化ガリウム系半導体膜57のバンドギャップエネルギーは、活性領域59の井戸層のバンドギャップエネルギーより大きい。このため、p型窒化ガリウム系半導体膜61およびn型窒化ガリウム系半導体膜57は、クラッド層として働く。

【0065】

図14(B)に示されるように、有機金属気相成長炉53を用いて、p型窒化ガリウム系半導体膜61上にp型窒化ガリウム系半導体膜63を成長する。p型窒化ガリウム系半導体膜63は、例えばInGa_N、Ga_NまたはAlGa_Nからなることができる。以上説明したように、本発明の実施の形態によれば、高い電流に密度においても外部量子効率の低下が小さい半導体発光素子を作製する方法が提供される。

【0066】

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。実施の形態では、基板として、Ga_N基板、サファイアテンプレート、SiC基板を例示したが、これらの限定されること無く、本発明は、Al_N、ZrB₂等も用いることができる。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権利を請求する。

【符号の説明】

【0067】

11、11a…半導体発光素子、13…窒化ガリウム系クラッド層、15…第2導電型の窒化ガリウム系クラッド層、17…活性領域、17a…量子井戸構造、19…井戸層、21…障壁層、23…III族窒化物基板、27…窒化ガリウム系半導体中間層、29…コンタクト層、31…第1のオーミック電極、33…第2のオーミック電極、37…活性領域、37a…量子井戸構造、39…井戸層、41…障壁層、D_w…井戸層の厚み、51…窒化ガリウム基板、53…有機金属気相成長炉、55…n型AlGa_N膜、57…窒化ガリ

10

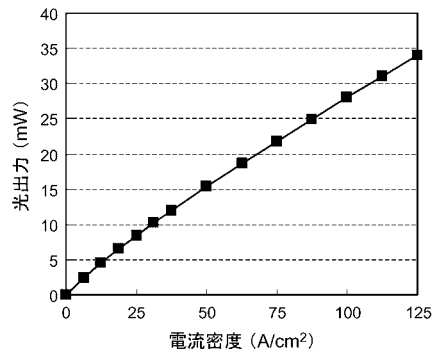
20

30

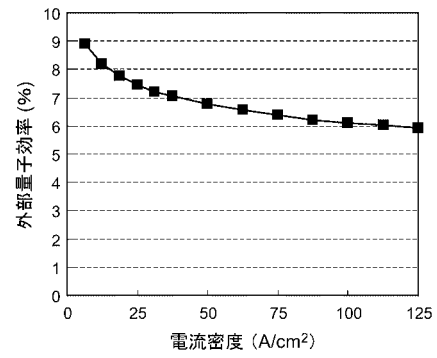
40

50

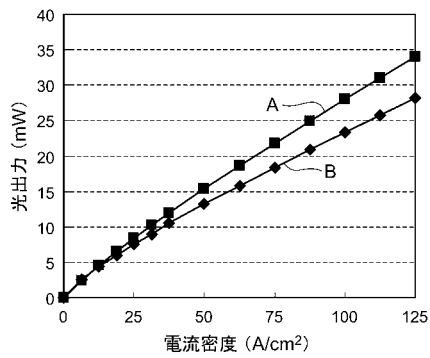
【図 3】



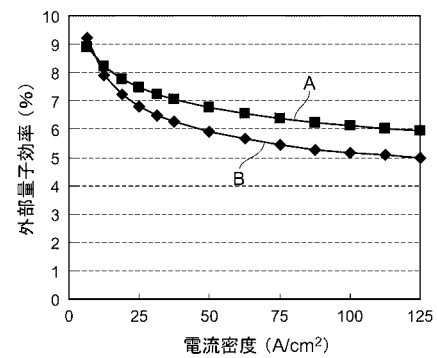
【図 4】



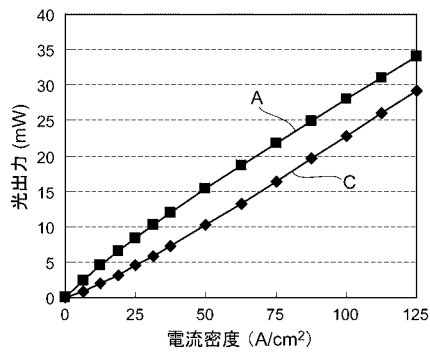
【図 5】



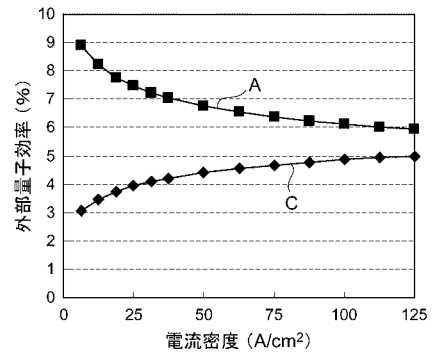
【図 6】



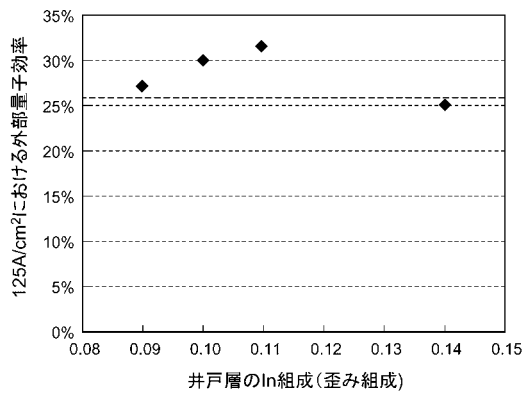
【図 7】



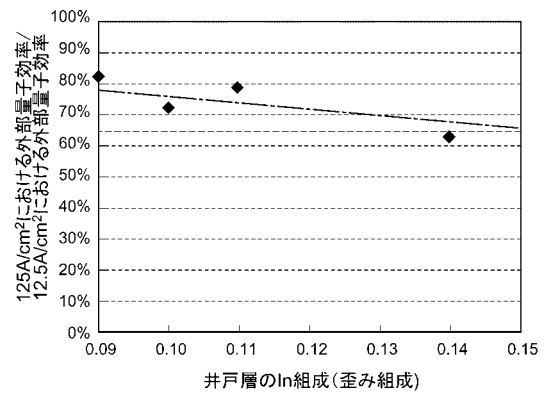
【図 8】



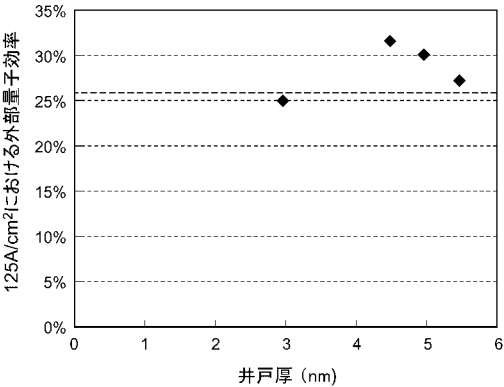
【図 9】



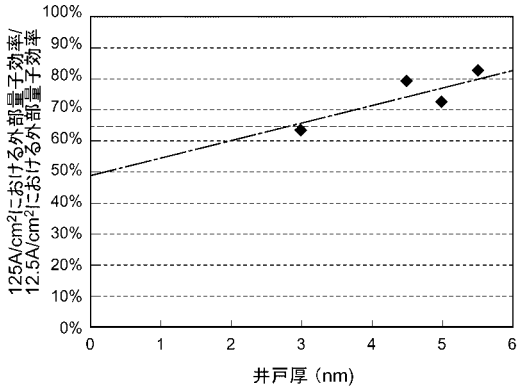
【図 10】



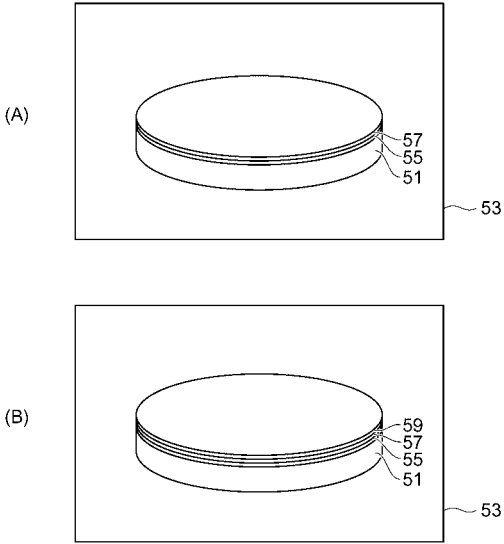
【図 1 1】



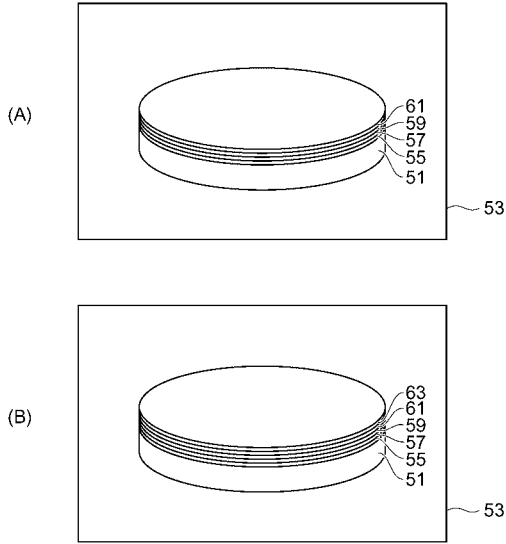
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



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 北林 弘之

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 片山 浩二

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

Fターム(参考) 5F041 AA04 CA04 CA05 CA22 CA40 CA65