

(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2017-17144
(P2017-17144A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

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

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2015-131299(P2015-131299)
(22) 出願日 平成27年6月30日(2015.6.30)

(71) 出願人 000005049
シャープ株式会社
大阪府堺市堺区匠町1番地
(74) 代理人 110001195
特許業務法人深見特許事務所
(72) 発明者 谷 善彦
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内
(72) 発明者 栗栖 彰宏
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内
(72) 発明者 渡辺 昌規
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内
Fターム(参考) 5F241 AA12 CA04 CA05 CA40 CA65
CA88

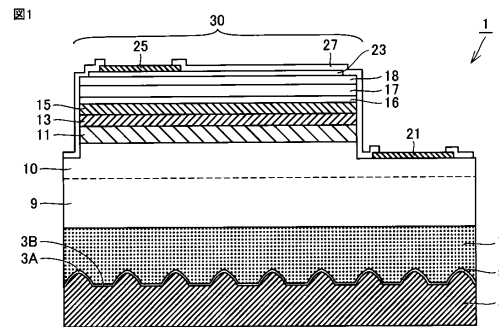
(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 第1発光層よりも短い発光波長を有する第2発光層を設けつつ、第1発光層からの発光が主となる窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 窒化物半導体発光素子1は、n型窒化物半導体層9、10と、第2発光層13と、第1発光層15と、p型窒化物半導体層16~18とをこの順に備え、第2発光層13は、第2井戸層と当該第2井戸層よりもバンドギャップの大きい第2バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第2井戸層を含み、第1発光層15は、第1井戸層と当該第1井戸層よりもバンドギャップの大きい第1バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第1井戸層を含み、第1井戸層のバンドギャップが第2井戸層のバンドギャップよりも小さく、駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と第1発光層の発光波長との差が10nm以下である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n 型窒化物半導体層と、第 2 発光層と、第 1 発光層と、p 型窒化物半導体層とをこの順に備え、

前記第 2 発光層は、第 2 井戸層と当該第 2 井戸層よりもバンドギャップの大きい第 2 バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第 2 井戸層を含み、

前記第 1 発光層は、第 1 井戸層と当該第 1 井戸層よりもバンドギャップの大きい第 1 バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第 1 井戸層を含み、

前記第 1 井戸層のバンドギャップが前記第 2 井戸層のバンドギャップよりも小さく、
駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と前記第 1 発光層の発光波長との差が 10 nm 以下である、窒化物半導体発光素子。 10

【請求項 2】

n 型窒化物半導体層と、第 2 発光層と、第 1 発光層と、p 型窒化物半導体層とをこの順に備え、

前記第 2 発光層は、第 2 井戸層と当該第 2 井戸層よりもバンドギャップの大きい第 2 バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第 2 井戸層を含み、

前記第 1 発光層は、第 1 井戸層と当該第 1 井戸層よりもバンドギャップの大きい第 1 バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第 1 井戸層を含み、

前記第 1 井戸層のバンドギャップが前記第 2 井戸層のバンドギャップよりも小さく、
駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と駆動電流値の 1 / 10 の電流値にお
ける発光スペクトルのピーク波長との差が 10 nm 以下である、窒化物半導体発光素子。 20

【請求項 3】

前記駆動電流値における発光スペクトルにおいて、

前記ピーク波長を p とし、

前記ピーク波長よりも短波長側に位置し、前記ピーク波長における発光強度の 80% の発光強度を有する波長を 1 とし、

前記ピーク波長よりも長波長側に位置し、前記ピーク波長における発光強度の 80% の発光強度を有する波長を 2 とした場合に、

下記式 (1) を充足する、請求項 1 または 2 に記載の窒化物半導体発光素子。

$$0.45 \left(\frac{2 - p}{p - 1} \right) \leq 1.55 \cdots \text{式 (1)} \quad 30$$

【請求項 4】

前記第 2 発光層は、前記第 1 発光層より 5 nm 以上短波長の光を発するように、前記第 2 井戸層のバンドギャップが設定されている、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】

前記第 1 発光層はアンドープであり、

前記第 2 発光層は n 型ドーパントを含む、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】

前記第 1 発光層および前記第 2 発光層のすべてがアンドープである、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。 40

【請求項 7】

n 型窒化物半導体層は、多層膜構造を備え、

前記多層膜構造を構成する各層の厚さが 10 nm 以上である、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 8】

前記第 1 発光層の EL 発光波長が 430 nm から 550 nm の範囲にあり、

前記 EL 発光波長を X とし、

前記第 1 井戸層の厚みを T とした場合に、下記式 (2) を満たす、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。 50

$0.0001X^2 - 0.1433X + 40.943$ T $0.0002X^2 - 0.2784X + 83.414 \dots$ 式(2)

【請求項9】

前記第1発光層は、前記第1井戸層と前記第1バリア層とが交互に位置する積層膜を含み、

前記第1発光層の井戸層数は3以上6以下である、請求項1から8のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

窒素を含むIII-V族化合物半導体(以下「窒化物半導体」と呼ぶ)は、赤外領域から紫外領域の波長を有する光のエネルギーに相当するバンドギャップを有しているため、赤外領域から紫外領域の波長を有する光を発光する発光素子やその領域の波長を有する光を受光する受光素子の材料として有用である。

【0003】

また、窒化物半導体は、窒化物半導体を構成する原子間の結合が強く、絶縁破壊電圧が高く、飽和電子速度が大きいことから、耐高温・高出力・高周波トランジスタなどの電子デバイスの材料としても有用である。

【0004】

さらに、窒化物半導体は、環境を害することがほとんどなく、取り扱いやすい材料としても注目されている。

【0005】

窒化物半導体を用いた窒化物半導体発光素子では、発光層として量子井戸構造を採用することが一般的である。電圧が印加されると、発光層中の井戸層において電子とホールとが再結合され、これにより、光が発生する。発光層は、単一量子井戸構造からなっても良いし、井戸層とバリア層とが交互に積層された多重量子井戸構造からなっても良い。

【0006】

このような窒化物半導体発光素子が開示された文献として、特開平10-22525号公報(特許文献1)、特開2007-067418号公報(特許文献2)、特開2001-28458号公報(特許文献3)、特開2002-176198号公報(特許文献4)および特開2007-142426号公報(特許文献5)が挙げられる。

【0007】

特許文献1には、多重量子井戸構造の発光素子において、発光する複数の井戸層の混晶比を変化させることにより、各井戸層からの発光の合成光を発する窒化物半導体発光素子が開示されている。具体的には、発光層は、n層側から、In_{0.68}Ga_{0.32}Nから成る井戸層を備える第1多重量子井戸と、In_{0.3}Ga_{0.7}Nから成る井戸層を備えた第2多重量子井戸からなる。

【0008】

この構造の発光ダイオードは、第1多重量子井戸からは、ピーク波長570nmの黄緑色を発光し、第2多重量子井戸からは、ピーク波長450nmの青色を発光し、この2つの発光の混合により、白色発光を得ることができるとされている。

【0009】

あるいは、発光層が、井戸層がIn_{0.5}Ga_{0.5}Nの第1多重量子井戸、井戸層がIn_{0.46}Ga_{0.54}Nの第2多重量子井戸、井戸層がIn_{0.43}Ga_{0.57}Nの第3多重量子井戸とで構成され、これらの光を合成することで、スペクトルに広がりを持った光を得ることができるとされている。

【0010】

10

20

30

40

50

特許文献2においても、複数の発光層を組み合わせる連続的なスペクトルを得る発光素子が開示されている。

【0011】

特許文献3においても、活性層に2つの多重量子井戸構造を備え、n型クラッド層側に近い第1量子井戸層は青色発光し、p型クラッド層に近い第2量子井戸層は黄色発光する発光素子が開示されている。青色発光及び黄色発光のスペクトルは、特許文献3の図4に示されるように明瞭に分離されている。

【0012】

特許文献4においても、発光スペクトルに2つのピークを備えた発光素子が開示されている。

【0013】

特許文献5には、p型窒化物層に隣接し第1波長光を放出する第1量子井戸活性層と、第2量子井戸活性層とを含む発光素子の例としてA、B、C形態が比較されている。A形態は第1量子井戸活性層である青色活性層が3つの量子井戸、第2量子井戸活性層である緑色活性層が3つの量子井戸（「青色活性層（×3）と緑色活性層（×3）」と記す）、B形態は緑色活性層（×5）と青色活性層（×3）、C形態は緑色活性層（×5）と青色活性層（×1）を備える。

【0014】

両活性層を光らせるためには、相対的に短波長の活性層は長波長の活性層よりp型窒化物層に隣接して配置することが好ましいとされている。上記第1活性層は約450～約475nmの発光波長を有し、上記第2活性層は約550～600nmの発光波長を有することができる。とされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】特開平10-22525号公報

【特許文献2】特開2007-067418号公報

【特許文献3】特開2001-28458号公報

【特許文献4】特開2002-176198号公報

【特許文献5】特開2007-142426号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

従来の技術では、2波長発光あるいは複数波長の発光を目的として、発光波長の異なる発光層（活性層）を組み合わせ、その全体を発光させる発光素子が提案されている。しかしながら、単に発光波長の異なる複数の発光層を組み合わせるだけでは、複数のピーク波長を有する光が混合されるのみで、ひとつの発光層の発光波長に近い光を得られることが困難であり、また、発光素子全体として得られるスペクトル波長は、半値幅が大きくなり、指向性を向上させることはできなかった。

【0017】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、第1発光層よりも短い発光波長を有する第2発光層を設けつつ、第1発光層からの発光が主となる窒化物半導体発光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本願発明者は、発光層の効率を向上させるという観点から、構成としては第1発光層と、それとは発光波長の異なる第2発光層を組み合わせ、第1発光層の発光を向上させることができるという意外性のある知見を得た。

【0019】

つまり、構成上は複数の発光層を備える従来技術と類似するものの、作用効果としては

10

20

30

40

50

第1発光層の発光効率向上及び第2発光層からの発光抑制を目的とするものである。第2発光層の発光を抑制しているため、主として第1発光層からの発光による、半値幅の狭い発光スペクトルを得ることができる。

【0020】

第1発光層と第2発光層を組みあわせることに加えて、第2発光層へのホール注入による発光を抑制するための構成上の差異により、第1発光層からの発光が支配的な発光素子を得ることができる。

【0021】

本発明に基づく窒化物半導体発光素子は、n型窒化物半導体層と、第2発光層と、第1発光層と、p型窒化物半導体層とをこの順に備え、上記第2発光層は、第2井戸層と当該第2井戸層よりもバンドギャップの大きい第2バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第2井戸層を含み、上記第1発光層は、第1井戸層と当該第1井戸層よりもバンドギャップの大きい第1バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第1井戸層を含み、上記第1井戸層のバンドギャップが上記第2井戸層のバンドギャップよりも小さく、駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と上記第1発光層の発光波長との差が10nm以下である。

10

【0022】

本発明に基づく窒化物半導体発光素子は、n型窒化物半導体層と、第2発光層と、第1発光層と、p型窒化物半導体層とをこの順に備え、上記第2発光層は、第2井戸層と当該第2井戸層よりもバンドギャップの大きい第2バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第2井戸層を含み、上記第1発光層は、第1井戸層と当該第1井戸層よりもバンドギャップの大きい第1バリア層とが交互に位置する積層膜、あるいは、単数の第1井戸層を含み、上記第1井戸層のバンドギャップが上記第2井戸層のバンドギャップよりも小さく、駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と駆動電流値の1/10の電流値における発光スペクトルのピーク波長との差が10nm以下である。

20

【0023】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあっては、上記駆動電流値における発光スペクトルにおいて、上記ピーク波長を p とし、上記ピーク波長よりも短波長側に位置し、上記ピーク波長における発光強度の80%の発光強度を有する波長を 1 とし、上記ピーク波長よりも長波長側に位置し、上記ピーク波長における発光強度の80%の発光強度を有する波長を 2 とした場合に、下記式(1)を充足することが好ましい。

30

$$0.45 \left(\frac{p - 1}{2 - p} \right) \geq 1.55 \cdots \text{式(1)}$$

【0024】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあっては、上記第2発光層は、上記第1発光層より5nm以上短波長の光を発するように、上記第2井戸層のバンドギャップが設定されていることが好ましい。

【0025】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあっては、上記第1発光層はアンドープであってもよく、上記第2発光層はn型ドーパントを含んでいてもよい。

【0026】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあっては、上記第1発光層および上記第2発光層のすべてがアンドープであってもよい。

40

【0027】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあっては、n型窒化物半導体層は、多層膜構造を備えていてもよい。この場合には、上記多層膜構造を構成する各層の厚さが10nm以上であることが好ましい。

【0028】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあっては、上記第1発光層のEL発光波長が430nmから550nmの範囲にあることが好ましい。さらに、上記EL発光波長を X とし、上記第1井戸層の厚みを T とした場合に、下記式(2)を満たすことがこのまし

50

い。

$0.0001X^2 - 0.1433X + 40.943$ T $0.0002X^2 - 0.2784X + 83.414$ ・・・式(2)。

【0029】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあつては、上記第1発光層は、上記第1井戸層と上記第1バリア層とが交互に位置する積層膜を含んでいてもよい。この場合には、上記第1発光層の井戸層数は3以上6以下であることが好ましい。

【0030】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあつては、上記第2発光層は、上記第2井戸層と上記第2バリア層とが交互に位置する積層膜を含んでいてもよい。また、上記第1発光層および上記第2発光層は、上記第1井戸層と上記第2バリア層とが積層方向に隣接するように設けられていてもよい。この場合には、上記第1井戸層に隣接する上記第2バリア層は、上記第1バリア層よりも厚くてもよい。

10

【0031】

上記本発明に基づく窒化物半導体発光素子にあつては、上記第2発光層は、上記第2井戸層と上記第2バリア層とが交互に位置する積層膜を含んでいてもよい。また、上記第1発光層および上記第2発光層は、上記第1井戸層と上記第2バリア層とが積層方向に隣接するように設けられていてもよい。この場合には、上記第1井戸層に隣接する上記第2バリア層は、n型ドーパントを含んでいてもよく、上記第1井戸層は、アンドープであってもよい。

20

【発明の効果】

【0032】

本発明によれば、第1発光層よりも短い発光波長を有する第2発光層を設けることで、第2発光層から発光を抑制しつつ、第1発光層からの発光が支配的となる窒化物半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体発光素子の概略断面図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体発光素子の概略平面図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体発光素子を構成する窒化物半導体層におけるバンドギャップE_gの大きさを模式的に示すエネルギー図である。

30

【図4】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体発光素子を構成する窒化物半導体層における第1発光層のEL発光波長と好ましい第1井戸層の厚さとの関係を示す図である。

【図5】電流値を120mAとし、環境温度を25とした場合における実施例1-3に係る窒化物半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

【図6】電流値を120mAとし、環境温度を80とした場合における実施例1-3に係る窒化物半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

【図7】実施例1に係る窒化物半導体発光素子の発光スペクトルの電流依存性を示すグラフである。

40

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下では、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

以下では「キャリア濃度」という言葉と「ドーピング濃度」という言葉とを用いているが、その関係については後述する。

【0035】

また、本発明は以下に示す実施形態に限定されない。さらに、本発明の図面において、長さ、幅、および厚さなどの寸法関係は図面の明瞭化と簡略化のために適宜変更されており、実際の寸法関係を表すものではない。

【0036】

図1および図2は、それぞれ、本発明の実施形態に係る窒化物半導体発光素子1の概略

50

断面図および概略平面図である。図 2 に示す I - I 線における断面図が図 1 に相当する。また、図 3 は、図 1 に示された窒化物半導体発光素子 1 における多層膜 11 から p 型窒化物半導体層 16 までにおけるバンドギャップ E_g の大きさを模式的に示すエネルギー図である。図 3 の縦軸方向は図 1 に示す層の上下方向であり、図 3 の横軸の E_g は各組成におけるバンドギャップの大きさを模式的に表している。また、図 3 では、n 型ドーピングを行なう層には斜線を塗っている。

【0037】

< 窒化物半導体発光素子 >

本実施形態に係る窒化物半導体発光素子 1 は、基板 3 の上面上に、バッファ層 5 と、下地層 7 と、n 型窒化物半導体層 9, 10 と、多層膜 11 と、第 2 発光層 13 と、第 1 発光層 15 と、p 型窒化物半導体層 16, 17, 18 とがこの順に積層されてメサ部 30 (図 2 参照) が構成されている。メサ部 30 の外側においては、n 型窒化物半導体層 10 の上面の一部が多層膜 11 に覆われずに露出しており、その露出部分の上には、n 側電極 21 が設けられている。p 型窒化物半導体層 18の上には、透明電極 23 を介して p 側電極 25 が設けられている。窒化物半導体発光素子 1 のほぼ上面全体には、p 側電極 25 および n 側電極 21 が露出するように、透明保護膜 27 が設けられている。

10

【0038】

< 基板 >

基板 3 は、たとえば、サファイアのような絶縁性基板であっても良いし、GaN、SiC、または ZnO などのような導電性基板であっても良い。基板 3 の厚さは 120 μm としたが、特に限定されず、例えば 50 μm 以上 300 μm 以下であれば良い。基板 3 の上面は、平坦であっても良いし、図 1 に示すように凸部 3A および凹部 3B からなる凹凸形状を有していても良い。凸部 3A の間隔は、典型的には 2 μm 以上 5 μm 以下であるが、1 μm 以上 10 μm 以下であっても良い。

20

【0039】

< バッファ層 >

バッファ層 5 は、たとえば $\text{Al}_{s_0}\text{Ga}_{t_0}\text{N}$ ($0 < s_0 < 1$, $0 < t_0 < 1$, $s_0 + t_0 = 1$) 層であれば良く、好ましくは AlN 層または GaN 層である。ただし、N のごく一部 (0.5 ~ 2%) を酸素に置き換えても良い。これにより、基板 3 の成長面の法線方向に伸長するようにバッファ層 5 が形成されるので、結晶粒の揃った柱状結晶の集合体からなるバッファ層 5 が得られる。

30

【0040】

バッファ層 5 の厚さは、特に限定されないが、3 nm 以上 100 nm 以下であれば良く、好ましくは 5 nm 以上 50 nm 以下である。バッファ層は、MOCVD 法によって形成してもよく、スパッタ法によって形成してもよい。

【0041】

< 下地層 >

下地層 7 は、たとえば $\text{Al}_{s_1}\text{Ga}_{t_1}\text{In}_{u_1}\text{N}$ ($0 < s_1 < 1$, $0 < t_1 < 1$, $0 < u_1 < 1$, $s_1 + t_1 + u_1 = 1$) 層であれば良く、好ましくは $\text{Al}_{s_1}\text{Ga}_{t_1}\text{N}$ ($0 < s_1 < 1$, $0 < t_1 < 1$, $s_1 + t_1 = 1$) 層であり、より好ましくは GaN 層である。これにより、バッファ層 5 中に存在する結晶欠陥 (たとえば転位など) がバッファ層 5 と下地層 7 との界面付近でループされ易くなり、よって、その結晶欠陥がバッファ層 5 から下地層 7 へ引き継がれることを防止できる。

40

【0042】

下地層 7 は、n 型不純物を含んでいても良い。しかし、下地層 7 が n 型不純物を含んでいなければ、下地層 7 の良好な結晶性を維持することができる。よって、下地層 7 は n 型不純物を含んでいないことが好ましい。

【0043】

下地層 7 の厚みを厚くすることにより下地層 7 中の欠陥は減少するが、下地層 7 の厚みをある程度以上厚くしても下地層 7 における欠陥減少効果が飽和する。このことより、下

50

地層 7 の厚さは、特に限定されないが、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $8\ \mu\text{m}$ 以下であれば良い。

【0044】

< n 型窒化物半導体層 >

n 型窒化物半導体層 9 及び 10 は、たとえば $\text{Al}_{s_2}\text{Ga}_{t_2}\text{In}_{u_2}\text{N}$ ($0 < s_2 < 1$ 、 $0 < t_2 < 1$ 、 $0 < u_2 < 1$ 、 $s_2 + t_2 + u_2 = 1$) 層に n 型不純物がドーピングされた層であれば良く、好ましくは $\text{Al}_{s_2}\text{Ga}_{1-s_2}\text{N}$ ($0 < s_2 < 1$ 、好ましくは $0 < s_2 < 0.5$ 、より好ましくは $0 < s_2 < 0.1$) 層に n 型不純物がドーピングされた層である。

【0045】

n 型ドーパントは、特に限定されないが、Si、P、As または Sb などであれば良く、好ましくは Si である。このことは、後述の各層においても言える。

10

【0046】

n 型窒化物半導体層 9 及び 10 における n 型ドーピング濃度は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 以上であれば良い。

【0047】

n 型窒化物半導体層 9 及び 10 の厚みが厚い方が、その抵抗が減少する。そのため、n 型窒化物半導体層 9 及び 10 の厚みは厚い方が好ましい。しかし、n 型窒化物半導体層 9 及び 10 の厚みを厚くすると、コストアップになる。そのため、実用的には、n 型窒化物半導体層 9 及び 10 の厚みは薄い方が好ましい。n 型窒化物半導体層 9 及び 10 の厚さは、特に限定されないが、実用上 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下であれば良い。

20

【0048】

なお、n 型窒化物半導体層 9 及び 10 は、後述する実施例 1 においては同じ n 型 GaN 層を一旦中断して 2 つの成長工程によって形成したものであるが、n 型窒化物半導体層 9 と n 型窒化物半導体層 10 とを連続して単層としても良いし、3 層以上の積層構造を有していても良い。各層は、同一の組成からなっても良いし、異なる組成からなっても良い。また、各層は、同一の膜厚を有していても良いし、異なる膜厚を有していても良い。

【0049】

< 多層膜 >

本明細書における多層膜とは、薄い結晶層を交互に積層した層を意味する。図 3 に示すように、多層膜 11 では、例えば厚さ $10\ \text{nm}$ 以上のワイドバンドギャップ層 11B と厚さ $10\ \text{nm}$ 以上のナローバンドギャップ層 11W とが交互に積層されている。ここでワイドバンドギャップ層 11B とナローバンドギャップ層 11W は交互に積層されるが、その始まりの層、および終わりの層として 11W と 11B のどちらが構成されていてもよい。なお、多層膜 11 の各層厚が薄い場合、例えば $10\ \text{nm}$ 以下の場合には超格子層と呼ばれることもあり、多層膜はそのような超格子層であってもよい。また、多層膜を省略あるいは単一組成の膜などに置き換えてもよい。

30

【0050】

各ワイドバンドギャップ層 11B は、たとえば $\text{Al}_a\text{Ga}_b\text{In}_{(1-a-b)}\text{N}$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$) であれば良く、好ましくは GaN 層である。

【0051】

各ナローバンドギャップ層 11W の組成は、たとえばワイドバンドギャップ層 11B よりもバンドギャップが小さく、且つ下記第 2 井戸層 13W および第 1 井戸層 15W の各バンドギャップより大きい $\text{Al}_a\text{Ga}_b\text{In}_{(1-a-b)}\text{N}$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$) であれば良く、好ましくは $\text{Ga}_b\text{In}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) である。

40

【0052】

各ワイドバンドギャップ層 11B 及び各ナローバンドギャップ層 11W の少なくとも一方は、n 型ドーパントを含んでいることが好ましい。ワイドバンドギャップ層 11B とナローバンドギャップ層 11W との両方がアンドープであると、駆動電圧が上昇するためである。

【0053】

50

なお、ワイドバンドギャップ層 1 1 B およびナローバンドギャップ層 1 1 W の各層数は、図 3 では 5 としたが、例えば 1 から 5 0 であればよい（ナローバンドギャップ層 1 1 W が 1 層の場合は、ワイドバンドギャップ層 1 1 B の数はゼロになる）。

【 0 0 5 4 】

多層膜 1 1 の各層厚が 1 0 n m 以上 4 0 n m 以下で構成された場合、n 型窒化物半導体層 9 及び 1 0 に存在する貫通転位 (t h r e a d i n g d i s l o c a t i o n) などの結晶欠陥を効果的に低減し、第 2 発光層 1 3 及び第 1 発光層 1 5 における結晶欠陥を減少させることができて好ましい。特に第 1 発光層の発光波長が 4 6 0 n m を超える場合には、波長が長くなるほど貫通転位密度による発光効率の低下が顕著となるため、各層厚が 1 0 n m 以上 4 0 n m 以下で構成される多層膜構造を用いることが好ましい。

10

【 0 0 5 5 】

< 第 2 発光層 >

第 2 発光層 1 3 は、図 3 に示すように、第 2 井戸層 1 3 W と第 2 バリア層 1 3 B とが交互に位置するように構成された積層膜である。積層方向において隣り合う第 2 井戸層 1 3 W の間には、第 2 バリア層 1 3 B が配置される。第 2 発光層 1 3 は、複数の第 2 井戸層 1 3 W と互いに隣り合う該第 2 井戸層 1 3 W の間に挟まれた第 2 バリア層 1 3 B とを含む積層膜を備える。

【 0 0 5 6 】

第 2 発光層 1 3 は、多層膜 1 1 の上に設けられている。具体的には、第 2 発光層 1 3 のうち最も下層に位置する最初の第 2 バリア層 1 3 B F が多層膜 1 1 上に設けられている。第 2 発光層 1 3 のうち最も上層に位置する最後の第 2 バリア層 1 3 B L は、第 1 発光層の第 1 井戸層 1 5 W にも接している。最後の第 2 バリア層 1 3 B L は、第 2 発光層 1 3 と第 1 発光層 1 5 の間のバリア層ともいえる。なお、上最初の第 2 バリア層 1 3 B F および最後の第 2 バリア層 1 3 B L は、第 2 発光層 1 3 に含まれる複数の第 2 バリア層 1 3 B の一部である。

20

【 0 0 5 7 】

第 2 バリア層 1 3 B のバンドギャップは、第 2 井戸層 1 3 W のバンドギャップより大きい。なお、第 2 発光層 1 3 は、多層膜 1 1 と同じく、第 2 バリア層 1 3 B および第 2 井戸層 1 3 W とは異なる 1 層以上の半導体層と、第 2 バリア層 1 3 B と、第 2 井戸層 1 3 W と、が順に積層されていても良い。また、第 2 発光層 1 3 の一周期の長さ（第 2 バリア層 1 3 B と第 2 井戸層 1 3 W の合計の厚さ）は、例えば 5 n m 以上 1 0 0 n m 以下である。

30

【 0 0 5 8 】

各第 2 井戸層 1 3 W の組成は、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子に求められる発光波長に合わせて調整されるが、たとえば $A_1 a G a b I n_{(1-a-b)} N_{(0-a < 1, 0 < b < 1)}$ であれば良く、好ましくは A l を含まない $I n_c G a_{1-c} N_{(0 < c < 1)}$ 層である。ただし例えば 3 7 5 n m 以下の紫外発光を行なう場合には、一般にはバンドギャップを広くするため適宜 A l を含ませることとなる。

【 0 0 5 9 】

各第 2 バリア層 1 3 B （最後の第 2 バリア層 1 3 B L を含む）は、たとえば $A_1 a G a b I n_{(1-a-b)} N_{(0-a < 1, 0 < b < 1)}$ 層であれば良く、好ましくは G a N 層である。ただし、第 2 バリア層 1 3 B は第 2 井戸層 1 3 W よりバンドギャップを大きくする必要があるので、適宜 I n 、 A l あるいはその両方を導入してバンドギャップを調整する。

40

【 0 0 6 0 】

第 2 発光層 1 3 はアンドープであってもよいが、n 型ドーピングを行っても良い。n 型ドーピングを行うと第 2 発光層 1 3 からの発光が減少するが、本願では主として第 1 発光層 1 5 を発光させることを目的としているため、大きな不都合はない。第 2 発光層 1 3 の平均 n 型ドーピング濃度は、後述の第 1 発光層 1 5 の平均 n 型ドーピング濃度よりも高いことが好ましい。これにより、窒化物半導体発光素子 1 を大電流で駆動しても、その駆動電圧の上昇が抑えられるため、電力効率の低下を防止できる。

50

【0061】

駆動電圧の上昇を抑えるという観点からは、各第2井戸層13Wと、最後の第2バリア層13BLを除く各第2バリア層13Bおよび最後の第2バリア層13BLの少なくとも一方のバリア層とは、n型ドーパントを含むことが好ましい。また、各第2バリア層13Bのn型ドーピング濃度が各第2井戸層13Wのn型ドーピング濃度より高いことがより好ましい。

【0062】

各第2井戸層13W及び各第2バリア層13Bにおけるn型ドーピング濃度は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であれば良く、好ましくは $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。第2発光層13の平均キャリア濃度（ドーパントがSiの場合ほぼn型ドーピング濃度に等しい）が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満であれば、窒化物半導体発光素子1の駆動電圧が上昇する傾向にある。

10

【0063】

各第2井戸層13Wの厚さは、特に限定されないが、1.5nm以上5.5nm以下であることが好ましい。各第2井戸層13Wの厚さがこの範囲外であると、発光効率が低下する場合がある。

【0064】

各第2バリア層13B（最後の第2バリア層13BLを含む）の厚さは、特に限定されないが、3nm以上であることが好ましく、4nm以上20nm以下であればさらに好ましい。各第2バリア層13B（最後の第2バリア層13BLを含む）の厚さは一定である必要はない。

20

【0065】

一般に、窒化物半導体発光素子では、発光層を構成する井戸層とn型窒化物半導体層とで格子定数などが異なることに起因して歪みが発生するが、第2発光層13はこの歪みに起因する結晶の欠陥を低減する働きがある。

【0066】

<第1発光層>

第1発光層15は、図3に示すように、第1井戸層15Wと第1バリア層15Bとが交互に位置するように構成された積層膜である。積層方向において隣り合う第1井戸層15Wの間には、第1バリア層15Bが配置される。第1発光層15は、複数の第1井戸層15Wと隣り合う該第1井戸層15Wの間に挟まれた第1バリア層15Bを含む積層膜を備える。

30

【0067】

第1発光層15は、第2発光層13の上に設けられている。具体的には、第1発光層15のうち最も下層に位置する第1井戸層15Wが第2発光層13上に設けられている。第1発光層15のうち最もp型窒化物半導体層16側に位置する第1井戸層15Wの上には、最後の第1バリア層15BLが設けられている。

【0068】

第1井戸層15Wのバンドギャップより、第1バリア層15Bおよび最後の第1バリア層15BLのバンドギャップの方が大きい。なお、第1発光層15は、第1バリア層15Bおよび第1井戸層15Wとは異なる1層以上の半導体層と、第1バリア層15Bと、第1井戸層15Wと、が順に積層されていても良い。また、第1発光層15の一周期（第1バリア層15Bの厚さと第1井戸層15Wの厚さの和）の長さは、例えば5nm以上100nm以下である。

40

【0069】

本発明は、第1発光層15の発光波長が第2発光層13の発光波長より若干長いことを特徴としている（第2発光層からの発光が弱くて第2発光層の発光波長の誤差が大きいなどの場合には、第1発光層15の発光波長は、後述する第2発光層の設計発光波長よりも若干長い）。

【0070】

50

第1発光層15の発光波長は第2発光層13の発光波長より波長換算で+80nm以下であることが好ましく、+60nm以下であることがより好ましく、+40nm以下であることが更に好ましい。また第1発光層15の発光波長は第2発光層13の発光波長より+5nm以上であることが好ましく、+10nm以上であることがより好ましく、+15nm以上であることが更に好ましい。好ましい範囲の理由のひとつとしては、後述する比較例1の結果を踏まえた考察において言及している。

【0071】

発光層の発光波長は多重井戸層の量子準位によって定まるが、これは井戸層のバンドギャップより若干大きい。しかし、第1井戸層15Wの発光波長と第2井戸層13Wの発光波長の差は、ほぼ第1井戸層15Wのバンドギャップと第2井戸層13Wのバンドギャップの差と考えることができる。

10

【0072】

ここで、バンドギャップ(eV) = 波長(nm) / 1240の関係がある。実際の発光波長は電流依存性等があるが、設計発光波長は近似的に井戸層の組成によって決まるバンドギャップの値によってほぼ決まり、厳密には井戸層の厚さから計算によって求められる量子効果を合わせた値と考えてよい。

【0073】

各第1バリア層15Bの厚さは、特に限定されないが、2.5nm以上であることが好ましく、3nm以上20nm以下であればさらに好ましい。各第1バリア層15Bの厚さは一定である必要はなく、特に図3に示す最後の第1バリア層15BLの厚さは各第1バリア層15Bの厚さと異なってもよい。最後の第1バリア層15BLの厚さは、1nm以上40nm以下が好ましい。

20

【0074】

各第1井戸層15Wの厚さは、1nm以上9nm以下であることが好ましい。各第1井戸層15Wの厚さがこの範囲外であれば、発光効率が低下する傾向にある。さらに好ましくは、第1井戸層15Wの厚さは、発光波長によって変化させることで発光効率を改善できる。

【0075】

具体的には、電流注入時における第1発光層15のEL(electroluminescence)発光波長が450nmの場合には、第1井戸層15Wの厚さは、2.5nm以上7.3nm以下であることが好ましい。電流注入時における第1発光層15のEL発光波長が470nmの時は、第1井戸層15Wの厚さは、2.0nm以上6.2nm以下であることが好ましい。電流注入時における第1発光層15のEL発光波長が520nmの時は、第1井戸層15Wの厚さは、1.2nm以上4.3nm以下であることが好ましい。

30

【0076】

図4は、本発明の一実施形態に係る窒化物半導体発光素子を構成する窒化物半導体層における第1発光層のEL発光波長と好ましい第1井戸層の厚さとの関係を示す図である。縦軸を第1井戸層15Wの膜厚とし、横軸をEL発光波長としている。

【0077】

第1井戸層15Wの膜厚をTとし、第1発光層15のEL発光波長をXとした場合には、上述のように、第1発光層15の各EL発光波長における第1井戸層15Wの上限値を結んだ曲線は、 $T = 0.0002X^2 - 0.2784X + 83.414$ の式にて近似される。一方、第1発光層15の各EL発光波長における第1井戸層15Wの下限値を結んだ曲線は、 $T = 0.0001X^2 - 0.1433X + 40.943$ の式にて近似される。

40

【0078】

つまり、第1発光層15のEL発光波長が430nmから550nmの範囲において、第1発光層15の第1井戸層15Wの厚みTとEL発光波長Xとの関係が下記式(1)を充足する場合に、良好な発光効率を得られる。

$$0.0001X^2 - 0.1433X + 40.943 \leq T \leq 0.0002X^2 - 0.278$$

50

$4X + 83 \cdot 414 \cdots$ 式(1)。

【0079】

これはEL発光波長が長くなるに従い、Inの組成が高くなるが、このIn組成の上昇に応じて井戸層の結晶性が悪化すると考えられており、したがってEL発光波長が長くなるに従い井戸層の最適値は薄いほうにずれる。

【0080】

一方、EL発光波長が短くなるほど結晶性は改善するため、井戸層厚を厚くし、全井戸層厚である発光体積を増やすほうに最適値がずれる。各第1井戸層15Wの厚さは、各第2井戸層13Wの厚さと同じであってもよい。さらに、第1発光層15および第2発光層13の各井戸層(第1井戸層、第2井戸層)の膜厚を同じにするとともに、各バリア層(第1バリア層、第2バリア層)の膜厚も同じにすることで(ここでウェルとバリアの膜厚は異なってもよい)、例えばX線検査等により膜厚を容易に測定することができ、生産管理が容易となる。

10

【0081】

各第1井戸層15Wの組成は、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子に求められる発光波長に合わせて調整されるが、たとえば $Al_a Ga_b In_{(1-a-b)} N$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$)であれば良く、好ましくはAlを含まない $In_c Ga_{1-c} N$ ($0 < c < 1$)層である。ただし例えば375nm以下の紫外発光を行なう場合には、一般にはバンドギャップを広くするため適宜Alを含ませることとなる。

【0082】

また、各第1井戸層15Wはドーパントを極力含まない(成長時にドーパント原料を導入しない)ことが好ましい。具体的には $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下とするとよい。各第1井戸層15Wがn型ドーパントを含んでいなければ、各第1井戸層15Wにおける非発光再結合が起こりにくく、発光効率が良いとなる。なお、各第1井戸層15Wは、n型ドーパントを含んでいても良く、それにより発光素子の駆動電圧が低下する傾向にある。

20

【0083】

また、第1発光層15の各第1バリア層15B(第1バリア層15BLを除く)は、ドーパントを極力含まないことが好ましい。具体的には $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下とするとよい。

30

【0084】

ドーパントを含んでいなければ、バリア層における非発光再結合が起こりにくく、かつホールキャリアの活性層中への広がりが増えて発光効率が良いとなる。また第1発光層15、および第2発光層13のすべてにおいて、ドーパントを極力含まない、具体的には $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のドーパント濃度となる構造とすると、発光層全体の歪を緩和でき、発光効率を改善できるため好ましい。

【0085】

< p型窒化物半導体層 >

図1に示した構成では、p型窒化物半導体層をp型AlGaIn層16、p型GaN層17、および高濃度p型GaN層18の3層構造としているが、この構成は一例であって、一般にp型窒化物半導体層16、17、18は、たとえば $Al_{s4} Ga_{t4} In_{u4} N$ ($0 < s4 < 1$ 、 $0 < t4 < 1$ 、 $0 < u4 < 1$ 、 $s4 + t4 + u4 < 0$)層にp型ドーパントがドーピングされた層であれば良く、好ましくは $Al_{s4} Ga_{1-s4} N$ ($0 < s4 < 0.4$ 、好ましくは $0.1 < s4 < 0.3$)層にp型ドーパントをドーピングした層である。

40

【0086】

p型ドーパントは、特に限定されないが、たとえばマグネシウムである。

p型窒化物半導体層17、18におけるキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。ここで、p型ドーパントの活性率は0.01程度であることから、p型窒化物半導体層17、18におけるp型ドーピング濃度(キャリア濃度とは異なる)

50

は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。ただし第1発光層15に近いp型窒化物半導体層16におけるp型ドーピング濃度はこれより低くてもよい。

【0087】

p型窒化物半導体層16, 17, 18の合計の厚さは、特に限定されないが、10nm以上300nm以下であれば良い。

【0088】

<n側電極、透明電極、p側電極>

n側電極21およびp側電極25は、窒化物半導体発光素子1に駆動電力を供給するための電極である。平面図である図2を参照して、n側電極21は、n側パッド電極21Aおよびn側枝電極21Bよりなる。p側電極25は、p側パッド電極25Aおよびp側枝電極25Bよりなる。

10

【0089】

n側枝電極21B及びp側枝電極25Bは、電流拡散を促進するためのものだが、チップサイズが小さいなど電流拡散の必要性が少ない場合には、省略してもよい。また、p側電極25の下部において電流の注入を止めるための絶縁層を設けても良く、それによりp側電極25に遮蔽される発光の量が減少する。

【0090】

n側電極21は、たとえば、チタン層、アルミニウム層および金層がこの順序で積層されて構成されていれば良く、ワイヤボンドを行なう場合の強度を想定すると1 μm 程度の厚さを有していれば良い。

20

【0091】

p側電極25は、たとえばニッケル層、アルミニウム層、チタン層および金層がこの順序で積層されて構成されていれば良く、1 μm 程度の厚さを有していれば良い。n側電極21とp側電極25は同一の組成であってもよい。

【0092】

透明電極23は、たとえばITO (Indium Tin Oxide)、IZO (Indium Zinc Oxide)などの透明導電膜からなれば良く、20nm以上200nm以下の厚さを有していれば良い。

【0093】

ここで、キャリア濃度は、電子または正孔の濃度を意味し、n型ドーパントの量またはp型ドーパントの量だけで決まらない。つまり、第2発光層13のキャリア濃度は第2発光層13にドーブされたn型ドーパントの量だけで決まらず、第1発光層15のキャリア濃度は第1発光層15にドーブされたn型ドーパントの量だけで決まらない。

30

【0094】

このようなキャリア濃度は、窒化物半導体発光素子1の電圧対容量特性の結果に基づいて算出されるものであり、電流が注入されていない状態のキャリア濃度のことを指しており、イオン化した不純物、ドナー化した結晶欠陥、またはアクセプター化した結晶欠陥から発生したキャリアの合計である。

【0095】

しかしながら、n型キャリア濃度は、n型ドーパントであるSi等の活性化率が高いことから、n型ドーピング濃度と同じと考えることができる。また、n型ドーピング濃度は、SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry)にて深さ方向の濃度分布を測定することにより、容易に求まる。

40

【0096】

さらに、ドーピング濃度の相対関係(比率)は、キャリア濃度の相対関係(比率)とほぼ同じである。ドーピング濃度は、容易に測定することができる。そして、測定により得られたn型ドーピング濃度を平均すれば、平均n型ドーピング濃度を得ることができる。

【0097】

以下の実施例において、各層のMOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition)成長における原料ガスとしては、Gaの原料

50

ガスはTMG（トリメチルガリウム）、Inの原料ガスはTMI（トリメチルインジウム）、Alの原料ガスはTMA（トリメチルアルミニウム）、Nの原料ガスはNH₃、n型ドーパントの原料ガスはSiH₄、p型ドーパントの原料ガスはCp₂Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用いた。

【実施例】

【0098】

以下では、本発明の具体的な実施例を示す。なお、本発明は以下に示す実施例に限定されない。図5は、電流値を120mAとし、環境温度を25とした場合における実施例1-3に係る窒化物半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。図6は、電流値を120mAとし、環境温度を80とした場合における実施例1-3に係る窒化物半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。図7は、実施例1に係る窒化物半導体発光素子の発光スペクトルの電流依存性を示すグラフである。

10

【0099】

<実施例1>

まず、凹凸加工が上面に施された150mm径のサファイア基板3からなるウエハを準備し、その上面上に、AlNからなるパッファ層5をスパッタ法により形成した。

【0100】

次に、ウエハをMOCVD装置に入れ、MOCVD法により、アンドープGaNからなる下地層7、n型GaNからなるn型窒化物半導体層9を結晶成長させた。このとき、下地層7の厚さは4.5μm、n型窒化物半導体層9の厚さは4.5μmであり、n型窒化物半導体層9におけるn型ドーピング濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であった。

20

【0101】

引き続き、多層膜11を結晶成長させた。多層膜11は、SiドーブGaNからなる厚さ12nmのワイドバンドギャップ層11BとSiドーブIn_{0.04}Ga_{0.96}Nからなる厚さ12nmのナローバンドギャップ層11Wとを交互に4周期、結晶成長させたものである。ここで、ワイドバンドギャップ層11Bとナローバンドギャップ層11Wのn型ドーピング濃度は $7.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0102】

次に、ウエハの温度を下げて第2発光層13を結晶成長させた。具体的には、アンドープGaNからなる第2バリア層13BとアンドープInGaNからなる第2井戸層13Wとを交互に4層ずつ、結晶成長させた。この際、4層目の第2井戸層13Wの上に、最後の第2バリア層13BLを成長させた。

30

【0103】

第2バリア層13BはアンドープGaN層であり、各第2バリア層13Bの厚さを4.0nmとした。

【0104】

第2井戸層13Wは、アンドープIn_xGa_{1-x}N層（ $x = 0.20$ ）を結晶成長させた。第2井戸層13Wの厚さは3.08nmであった。また、Inの組成xは、第2井戸層13Wがフォトルミネッセンスにより発する光の波長が443nmとなるようにTMIの流量を調整して設定した。

40

【0105】

次に、第1発光層15を結晶成長させた。具体的には、アンドープInGaNからなる第1井戸層15WとアンドープGaNからなる第1バリア層15Bとを交互に4層ずつ、結晶成長させた。この際、最上層の第1井戸層15Wの上に、アンドープのGaN層からなる最後の第1バリア層15BLを成長した。

【0106】

第1バリア層15Bは、厚さを4.0nmとした。

第1井戸層15Wは、アンドープIn_xGa_{1-x}N層（ $x = 0.25$ ）を結晶成長させた。各第1井戸層15Wの厚さを3.08nmとし、各第2井戸層13Wの厚さと設計上同じ厚さとした。また、Inの組成xは、25の環境温度にて、駆動電流値120mA

50

Aを印加した際の第1井戸層15Wの発光波長が470nmとなるようにTMIの流量を調整して設定した。

【0107】

次に、ウエハの温度を上げて、最後の第1バリア層15BLの上面上に、p型Al_{0.18}Ga_{0.82}N層16、p型GaN層17およびp型コンタクト層18を結晶成長させた。

【0108】

そして、n型窒化物半導体層9の一部が露出するように、p型コンタクト層18、p型GaN層17、p型AlGaN層16、第1発光層15、第2発光層13、多層膜11、n型窒化物半導体層10の一部をエッチングした。このエッチングにより露出したn型窒化物半導体層10の上面上にAuからなるn側電極21を形成した。また、p型コンタクト層18の上面上に、ITO(Indium Tin Oxide)からなる透明電極23とAuからなるp側電極25とを順に形成した。また、主として透明電極23及び上記エッチングによって露出した各層の側面を覆うように、SiO₂からなる透明保護膜27を形成した。

10

【0109】

ウエハを620×680μmサイズのチップに分割して、実施例1に係る窒化物半導体発光素子1が得られた。

【0110】

実施例1に係る窒化物半導体発光素子1について、発光強度及びスペクトルを測定した。標準駆動電流値120mA、環境温度25における光出力は122mWであった。なお、駆動電流値は最大定格値を超えない範囲であれば任意の値とすることができる。また、仕様書において推奨される動作電流値があり、これを駆動電流値とすることもできる。駆動電流値は、一般的に、上記620×680μmサイズのチップであれば、20mAから700mAの範囲で設定される。なお、駆動電流値はチップサイズに比例して変化し、チップサイズが上記サイズから半分になれば、駆動電流値も半分の10mAから350mAに変化する。

20

【0111】

図5に示すように、25の環境温度にて、駆動電流値120mAを印加した際の実施例1に係る窒化物半導体発光素子1の発光スペクトルにおいては、ピーク波長が471nmであり、半値幅は、27nmであった。また、発光スペクトルの対称性を、図5におけるスペクトル強度の最大値の80%の線Hを波長ピークの値で分割したときの短波長側の長さWaと長波長側の長さWbとの比で定義すると、Wb/Wa=86%であった。

30

【0112】

すなわち、ピーク波長をpとし、当該ピーク波長よりも短波長側に位置し、ピーク波長における発光強度の80%の発光強度を有する波長を1とし、ピーク波長よりも長波長側に位置し、ピーク波長における発光強度の80%の発光強度を有する波長を2とした場合に、(2-p)/(p-1)の値が0.86であった。

【0113】

上記発光スペクトルにおける発光ピーク波長は、第1発光層15だけの設計発光ピーク波長(470nm)とほぼ一致する。

40

【0114】

図6に示すように、80の環境温度にて、駆動電流値120mAを印加した際の実施例1に係る窒化物半導体発光素子1の発光スペクトルにおいては、ピーク波長が473nmであり、半値幅が30nmであった。

【0115】

図7に示すように、互いに異なる電流値が印加された際に得られる発光スペクトルを比較すると、発光ピーク波長は、電流値が5mAの場合に476nmであり、電流値が12mAの場合に475nmであり、電流値が20mAの場合に、474nmであり、電流値が100mAの場合に471nmであり、電流値が120mAの場合に、471nmであ

50

る。電流値を 5 mA から 120 mA まで変更させた場合の波長変化は 5 nm 以内に収まっている。

【0116】

ここで、変形例 1 における構成・結果と、特許文献 5 記載の A 形態（以下「従来例」と記す。）の構成・結果を比較する。従来例は、上部発光層が長波長発光層、下部発光層が短波長発光層という点で、実施例 1 の構成と共通する。

【0117】

しかし、従来例の発光スペクトル図（特許文献 5 の図 3（a）を参照すると、電流値が 5 mA の場合には、上部発光層である緑色（ピーク波長約 540 nm）の発光を示すのに対し、電流値が 100 mA の場合には、青緑色（ピーク波長約 510 nm）の発光となっており、上部発光層からの発光が支配的ではなくなっている。そのためピーク波長の電流値依存性が非常に大きく、その波長差は 30 nm にも達する。また、電流値 100 mA における半値幅は約 45 nm と広がっている。

10

【0118】

一方、実施例 1 においては標準駆動電流においても長波長である第 1 発光層 15 の発光が支配的であり、電流値に対する波長変化はわずか 5 nm にすぎない。その結果、従来例が「短波長と合わせて長波長も発光させるという観点で好ましくない形態」であったのに対し、本願実施例 1 が「短波長側の発光を抑制しつつ、長波長を発光させるという観点で好ましい形態」であるという大きな差異が生じている。

【0119】

このように、電流値に対する変化を小さくすることによっても、第 2 発光層 13 からの短波長側の発光を抑制し、第 1 発光層 15 からの長波側の発光を支配的にすることが可能となる。これにより、駆動電流値における発光スペクトルの半値幅が 40 nm 以下に減少させることができ、指向性を向上させることができる。

20

【0120】

<実施例 2>

実施例 1 の構成に対し、第 2 発光層 13 および第 1 発光層 15 の井戸層数だけを変更した。つまり、第 2 バリア層 13 B とアンドープ InGa_N からなる第 2 井戸層 13 W とを交互に 2 層ずつ、アンドープ Ga_N からなる第 1 バリア層 15 B とアンドープ InGa_N からなる第 1 井戸層 15 W とを交互に 6 層ずつ形成した。

30

【0121】

その結果得られた実施例 2 に係る窒化物半導体発光素子 1 A について、発光強度及びスペクトルを測定した。駆動電流値 120 mA、25 における光出力は 112 mW であった。

【0122】

図 5 に示すように、25 の環境温度にて、駆動電流値 120 mA を印加した際の実施例 2 に係る窒化物半導体発光素子 1 A の発光スペクトルにおいては、ピーク波長が 471 nm であり、半値幅は、31 nm であった。

【0123】

また、発光スペクトルの対称性は 87% であった。すなわち、実施例 2 における発光スペクトルにおいて、ピーク波長を p とし、当該ピーク波長よりも短波長側に位置し、ピーク波長における発光強度の 80% の発光強度を有する波長を 1 とし、ピーク波長よりも長波長側に位置し、ピーク波長における発光強度の 80% の発光強度を有する波長を 2 とした場合に、 $(2 - p) / (p - 1)$ の値が 0.87 であった。

40

【0124】

この場合においても、発光ピーク波長は、第 1 発光層 15 だけの設計発光ピーク波長（470 nm）とほぼ一致する。

【0125】

図 6 に示すように、80 の環境温度にて、駆動電流値 120 mA を印加した際の実施例 2 に係る窒化物半導体発光素子 1 A の発光スペクトルにおいては、ピーク波長が 472

50

nmであり、半値幅が33nmであった。

【0126】

また、互いに異なる電流値が印加された際に得られる発光スペクトルを比較すると、発光ピーク波長は、電流値が12mAの場合に475nmであり、電流値が120mAの場合に上述のように472nmであった。電流値を12mAから120mAまで変更させた場合の波長変化は3nm以内に収まっている。

【0127】

<実施例3>

実施例1の構成に対し、第2発光層及び第1発光層の井戸層数だけを変更した。つまり、第2バリア層13BとアンドープInGaNからなる第2井戸層13Wとを交互に6層づつ、アンドープGaNからなる第1バリア層15BとアンドープInGaNからなる第1井戸層15Wとを交互に2層づつ形成した。

【0128】

その結果得られた実施例3に係る窒化物半導体発光素子1Bについて、発光強度及びスペクトルを測定した。駆動電流値120mA、25における光出力は130mWであった。

【0129】

図5に示すように、25の環境温度にて、駆動電流値120mAを印加した際の実施例3に係る窒化物半導体発光素子1Bの発光スペクトルにおいては、ピーク波長が460nmであり、半値幅は、32nmであった。

【0130】

また、発光スペクトルの対称性は50%であった。すなわち、実施例2における発光スペクトルにおいて、ピーク波長を p とし、当該ピーク波長よりも短波長側に位置し、ピーク波長における発光強度の80%の発光強度を有する波長を 1 とし、ピーク波長よりも長波長側に位置し、ピーク波長における発光強度の80%の発光強度を有する波長を 2 とした場合に、 $(2 - p) / (p - 1)$ の値が0.50であった。

【0131】

この場合、発光ピーク波長は第1発光層15だけの設計発光ピーク波長(470nm)より10nm短波長である。すなわち、駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と第1発光層15の発光波長との差が10nm以下に収まっている。

【0132】

なお、スペクトル形状も対称ではなくなっていることより、第2発光層13からの発光の影響も若干受けていると考えられるが、第2発光層の発光波長と、第1発光層15の発光波長と、上記ピーク波長とを考慮すると、第2発光層13からの発光は抑制されていると言える。

【0133】

図6に示すように、80の環境温度にて、駆動電流値120mAを印加した際の実施例3に係る窒化物半導体発光素子1Bの発光スペクトルにおいては、ピーク波長が461nmであり、半値幅が37nmであった。

【0134】

また、互いに異なる電流値が印加された際に得られる発光スペクトルを比較すると、発光ピーク波長は、電流値が12mAの場合に467nmであり、電流値が120mAの場合に上述のように460nmであった。電流値を12mAから120mAまで変更させた場合の波長変化は7nm以内に収まっている。

【0135】

なお、本実施例では、波長スペクトル形状が対称ではないため、特に蛍光体を用いた照明器具の用途においては、発光スペクトルの制御がやや困難となるが、適用することは十分に可能である。

【0136】

<比較例1>

10

20

30

40

50

実施例 1 の構成に対し、第 2 発光層がなく第 1 発光層だけからなる構造を作成した。つまり、アンドープ GaN からなる第 1 バリア層 15 B とアンドープ InGaN からなる第 1 井戸層 15 W とを交互に 8 層ずつ形成した。

【0137】

その結果得られた比較例 1 に係る窒化物半導体発光素子 1 X について、発光強度及びスペクトルを測定した。駆動電流値 120 mA, 25 における発光強度は 54 mW であった。

【0138】

25 の環境温度にて、駆動電流値 120 mA を印加した際の比較例 1 に係る窒化物半導体発光素子 1 X の発光スペクトルにおいては、ピーク波長が 469 nm であり、半値幅は、28 nm であった。

10

【0139】

80 の環境温度にて、駆動電流値 120 mA を印加した際の比較例 1 に係る窒化物半導体発光素子 1 X の発光スペクトルにおいては、ピーク波長が 470 nm であり、半値幅が 30 nm であった。

【0140】

比較例 1 においては、光出力が、第 2 発光層を備える実施例 1 - 3 の約半分であり、劣っているという結果になった。これは意外な結果であったので、実験ミスでないことを確認した。従来の方では、n 型窒化物半導体層において InGaN 層を含む多層膜 11 (超格子層でもよい) を設けることにより、結晶品質が改善され、良好な発光効率が得られるものと考えられている。現に、第 2 発光層を設けず、第 1 発光層のみを設け、第 1 発光層の発光波長を 450 nm とする構成 (従来構成) の LED が製造されている。

20

【0141】

そのため、従来構成に対して第 1 発光層の発光波長を 20 nm だけ長波長にした発光波長 470 nm の LED において、従来構成の LED と異なり、光出力が低下するとは予想できなかった。

【0142】

この原因については明らかではないが、一つの考え方として、多層膜 11 を構成するナローバンドギャップ層 11 W のバンドギャップと第 1 発光層 15 を構成する第 1 井戸層 15 W のバンドギャップ差が大きいのにに対し、第 2 発光層 13 の第 2 井戸層 13 W と第 1 発光層 15 を構成する第 1 井戸層 15 W のバンドギャップ差が小さいことが寄与している可能性がある。そのような考察より、先述の第 2 発光層 13 の発光波長と第 1 発光層 15 の発光波長との間の好ましい関係が得られる。

30

【0143】

以上のように、比較例 1 と実施例 1 - 3 との結果を考察することにより、駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と第 1 発光層の発光波長との差が 10 nm 以下であることが好ましいと言える。あるいは駆動電流値における発光スペクトルのピーク波長と駆動電流値の $1/10$ の電流値における発光スペクトルのピーク波長との差が 10 nm 以下であることが好ましいと言える。このような構成とすることにより、第 1 発光層よりも短い発光波長を有する第 2 発光層を設けることで、第 2 発光層から発光を抑制しつつ、第 1 発光層からの発光が支配的となることが実験的にも確認されたと言える。

40

【0144】

また、発光スペクトル形状がおおよそ対称であることが好ましく、具体的には対称性の指標となる W_b/W_a が 45% 以上 155% 以下であることが好ましく、75% 以上 125% 以下であることがより好ましいと言える。すなわち、上記 $(2-p)/(p-1)$ の値が 0.45 以上 1.55 以下であることが好ましいと言える。なお、この範囲は、上述の実施例においては、 $(2-p)$ が $(p-1)$ よりも小さくなる場合を例示して説明したが、この逆の関係にあってもよく、 $(2-p)$ が $(p-1)$ よりも大きくなる場合を考慮したものである。

【0145】

50

また、第1井戸層数としては2以上7以下が好ましく、3以上6以下がより好ましいと言える。

【0146】

<実施例4>

第2発光層13からの波長450nmの発光を抑えるため、実施例3をベースに、最後の第2バリア層13BL(第1発光層15の第1井戸層15Wに接する第2バリア層13B)の厚さを他の第2バリア層13Bの2倍の厚さである8.0nmとした。

【0147】

得られた実施例4に係る窒化物半導体発光素子1Cの光出力自体は、実施例3と同等だが、第1発光層15からの長波長の成分が増え、発光スペクトルの半値幅が減少した。波長470nm近傍では波長が長くなると視感度が高くなるため、470nm近傍の波長を有する光の割合が増加する実施例4に係る窒化物半導体発光素子1Cにおいては、視感度を考慮した全光束(単位lm)の向上が見られた。

10

【0148】

このように、第1発光層15および第2発光層13が、第1井戸層15Wと第2バリア層13Bとが積層方向に隣接するように設けられる場合には、第1井戸層15Wに隣接する第2バリア層13Bは、第2発光層13に含まれる他の第2バリア層13Bよりも厚いことが好ましい。

【0149】

<実施例5>

第2発光層13からの波長450nmの発光を抑えるため、実施例3をベースに、最後の第2バリア層13BLにn型ドーパントであるSiを $7.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドーブした。

20

【0150】

得られた実施例5に係る窒化物半導体発光素子1Dの光出力自体は、実施例3と同等だが、駆動電流値において第1発光層15からの長波長の成分が増え、光スペクトル半値幅が減少した。

【0151】

波長470nm近傍では波長が長くなると視感度が高くなるため、470nm近傍の波長を有する光の割合が増加する実施例5に係る窒化物半導体発光素子1Dにおいては、視感度を考慮した全光束(単位lm)の向上が見られた。なお、ここでは最後の第2バリア層13BL全体にSiドーブを行ったが、その一部のみドーピングを行ってもよく、例えばアンドープ層・ドーブ層・アンドープ層の3層構造としてその中央のみドーピングを行ってもよい。また最後の第2バリア層BLにn型ドーピングを行うとともに、厚さを厚くしてもよい。

30

【0152】

<実施例6>

第2発光層13からの450nmの発光を抑えるため、実施例3をベースに、第2発光層13の各層にn型ドーパントであるSiを $7.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドーブした。

【0153】

得られた実施例6に係る窒化物半導体発光素子1Eの光出力自体は、実施例3と同等だが、駆動電流値において第1発光層15からの長波長の成分が増え、光スペクトル半値幅が減少した。波長470nm近傍では波長が長くなると視感度が高くなるため、470nm近傍の波長を有する光の割合が増加する実施例6に係る窒化物半導体発光素子1Eにおいては、視感度を考慮した全光束(単位lm)の向上が見られた。

40

【0154】

<実施例7>

発光波長450nmの第2発光層を設けることにより、発光波長470nmの第1発光層の光出力が増大するという知見に基づき、例えば4つの井戸層を備え、発光波長が430nmの第2発光層と、例えば4つの井戸層を備え、発光波長が450nmの第1発光層

50

とを設けた発光素子とすることができる。また、例えば発光波長405nmの第1発光層と、発光波長385nmの第2発光層とを設ける、あるいは、発光波長520nmの第1発光層と発光波長500nmの第2発光層とを設けることができる。なお、第1発光層と第2発光層の波長差は20nmに限られるものではなく、駆動電流域において第1発光層からの発光波長が支配的となる範囲内で適宜変更することができる。第1発光層の波長も、窒化物半導体発光素子の実現可能な波長範囲、例えば200nmから600nmの範囲内において、適宜設定可能である。

【0155】

以上、本発明の実施の形態および実施例について説明したが、今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではない。本発明の範囲は特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

10

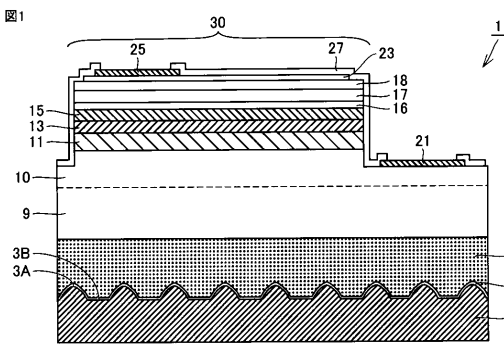
【符号の説明】

【0156】

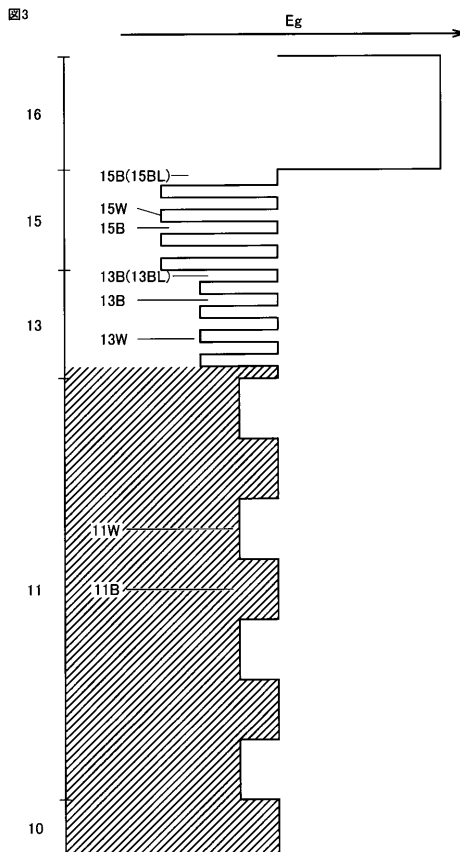
1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1X 窒化物半導体発光素子、3 基板、3A 凸部、3B 凹部、5 パツファ層、7 下地層、9, 10 n型窒化物半導体層、11 多層膜、11B ワイドバンドギャップ層、11W ナローバンドギャップ層、13 第2発光層、13B 第2バリア層、13W 第2井戸層、15 第1発光層、15B 第1バリア層、15W 第1井戸層、16, 17, 18 p型窒化物半導体層、21 n側電極、21A n側パッド電極、21B n側枝電極、23 透明電極、25 p側電極、25A p側パッド電極、25B p側枝電極、27 透明保護膜、30 メサ部。

20

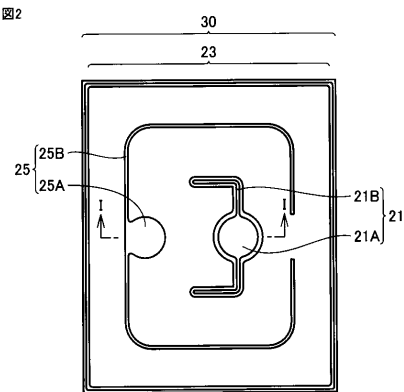
【図1】



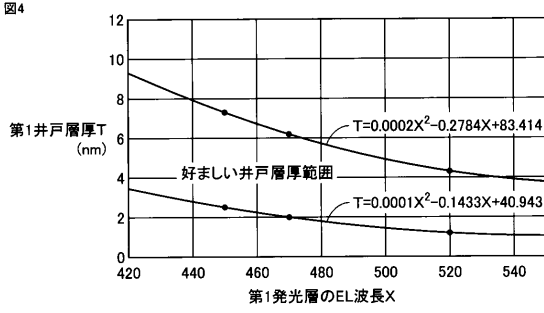
【図3】



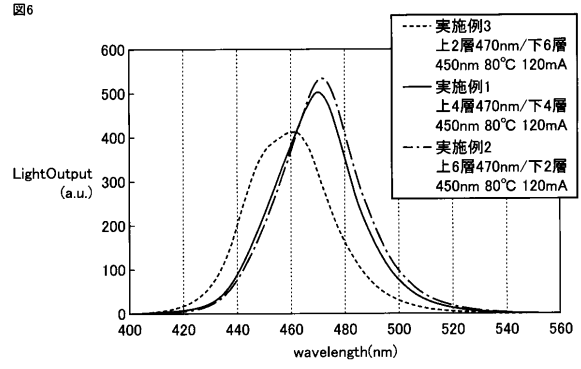
【図2】



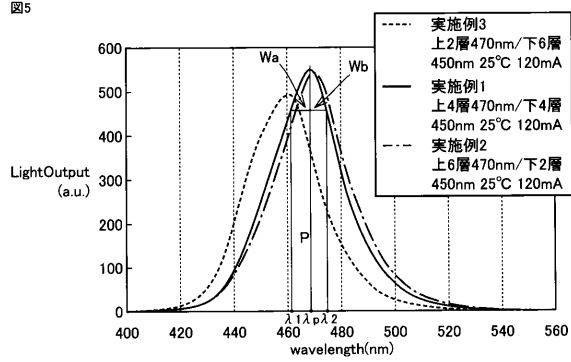
【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 5 】



【 図 7 】

