

(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2019-87712
(P2019-87712A)

(43) 公開日 令和1年6月6日(2019.6.6)

| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
|-------------------------|--------------------|-------------|
| HO 1 L 33/32 (2010.01) | HO 1 L 33/32 | 5 F 0 4 5 |
| HO 1 S 5/343 (2006.01) | HO 1 S 5/343 6 1 0 | 5 F 1 7 3 |
| HO 1 L 21/205 (2006.01) | HO 1 L 21/205 | 5 F 2 4 1 |

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2017-217383 (P2017-217383)
(22) 出願日 平成29年11月10日 (2017.11.10)

(出願人による申告) 「知の拠点あいち重点研究プロジェクト」研究委託契約に基づく「近未来水素エネルギー社会形成技術開発プロジェクト・高効率エネルギー部材分野(深紫外280nm (UV-C) LED の開発・製品化)」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000241463
豊田合成株式会社
愛知県清須市春日長畑1番地
(71) 出願人 599002043
学校法人 名城大学
愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501
(74) 代理人 100087723
弁理士 藤谷 修
(74) 代理人 100165962
弁理士 一色 昭則
(74) 代理人 100206357
弁理士 角谷 智広
(72) 発明者 竹内 哲也
愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目501番地 学校法人名城大学内

最終頁に続く

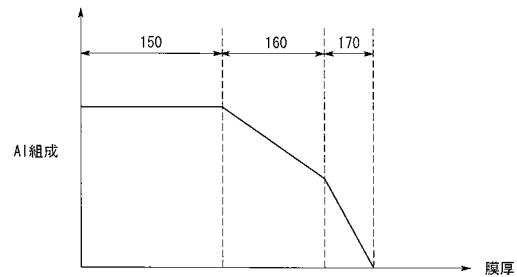
(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体発光素子とその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 AlGaIn層におけるAl組成の変化に起因してAlGaIn層の内部にp型化した部分とn型化した部分とが発生する分極の影響を低減するとともに、光取り出し効率の向上を図ったIII族窒化物半導体発光素子とその製造方法を提供することである。

【解決手段】 第1のp型コンタクト層160は、p型AlGaIn層である。第2のp型コンタクト層170は、p型AlGaIn層である。第1のp型コンタクト層160におけるAl組成は、発光層140から遠ざかるほど小さい。第2のp型コンタクト層170におけるAl組成は、発光層140から遠ざかるほど小さい。第2のp型コンタクト層170におけるAl組成は、第1のp型コンタクト層160におけるAl組成よりも小さい。第2のp型コンタクト層170における単位膜厚に対するAl組成の変化率は、第1のp型コンタクト層160における単位膜厚に対するAl組成の変化率よりも大きい。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

前記基板の上の n 型半導体層と、

前記 n 型半導体層の上の発光層と、

前記発光層の上の p 型半導体層と、

を有する III 族窒化物半導体発光素子において、

発光波長は 380 nm 以下であり、

前記 p 型半導体層は、

第 1 の p 型コンタクト層と第 2 の p 型コンタクト層とを有し、

10

前記第 1 の p 型コンタクト層は、

前記第 2 の p 型コンタクト層と前記発光層との間の位置に配置されており、

前記第 1 の p 型コンタクト層は、

p 型 AlGaIn 層であり、

前記第 2 の p 型コンタクト層は、

p 型 AlGaIn 層であり、

前記第 1 の p 型コンタクト層における Al 組成は、

前記発光層から遠ざかるほど小さく、

前記第 2 の p 型コンタクト層における Al 組成は、

前記発光層から遠ざかるほど小さく、

20

前記第 2 の p 型コンタクト層における Al 組成は、

前記第 1 の p 型コンタクト層における Al 組成よりも小さく、

前記第 2 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率は、

前記第 1 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率よりも大き

いこと

を特徴とする III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体発光素子において、

前記第 1 の p 型コンタクト層における Mg ドープ量は、

前記発光層から遠ざかるほど大きく、

30

前記第 2 の p 型コンタクト層における Mg ドープ量は、

前記発光層から遠ざかるほど大きく、

前記第 2 の p 型コンタクト層における Mg ドープ量は、

前記第 1 の p 型コンタクト層における Mg ドープ量よりも大きく、

前記第 2 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Mg ドープ量の変化率は、

前記第 1 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Mg ドープ量の変化率よりも

大きいこと

を特徴とする III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の III 族窒化物半導体発光素子において、

40

前記第 2 の p 型コンタクト層の膜厚は、

前記第 1 の p 型コンタクト層の膜厚よりも薄いこと

を特徴とする III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の III 族窒化物半導体発光素子において

、

前記第 2 の p 型コンタクト層の膜厚は、

5 nm 以上 50 nm 以下であること

を特徴とする III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】

50

請求項 1 から請求項 4 までのいずれか 1 項に記載の III 族窒化物半導体発光素子において、

前記第 2 の p 型コンタクト層の上の透明電極を有し、
 前記第 2 の p 型コンタクト層は、
 前記第 1 の p 型コンタクト層の反対側に前記透明電極と接触する接触面を有し、
 前記接触面における Al 組成が、
 0 以上 0 . 0 1 以下であること

を特徴とする III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】

基板の上に n 型半導体層を形成する工程と、
 前記 n 型半導体層の上に発光層を形成する工程と、
 前記発光層の上に p 型半導体層を形成する工程と、
 を有する III 族窒化物半導体発光素子の製造方法において、
 III 族窒化物半導体発光素子の発光波長は 3 8 0 nm 以下であり、
 前記 p 型半導体層を形成する工程は、
 前記発光層の側から第 1 の p 型コンタクト層を形成する工程と、
 前記第 1 の p 型コンタクト層の上に第 2 の p 型コンタクト層を形成する工程と、
 を有し、

10

前記第 1 の p 型コンタクト層を形成する工程では、
 前記第 1 の p 型コンタクト層として p 型 Al Ga N 層を形成し、
 前記第 1 の p 型コンタクト層における Al 組成を前記発光層から遠ざかるほど小さくし、

20

前記第 2 の p 型コンタクト層を形成する工程では、
 前記第 2 の p 型コンタクト層として p 型 Al Ga N 層を形成し、
 前記第 2 の p 型コンタクト層における Al 組成を前記発光層から遠ざかるほど小さくし、
 前記第 2 の p 型コンタクト層における Al 組成を、前記第 1 の p 型コンタクト層における Al 組成よりも小さくし、

前記第 2 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率を、前記第 1 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率よりも大きくすること

30

を特徴とする III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書の技術分野は、紫外発光する III 族窒化物半導体発光素子とその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体発光素子においては、発光層の井戸層で電子と正孔とが再結合し、光が放出される。発光効率を向上するためには、一般に、井戸層における電子の濃度および正孔の濃度を上げることが好ましい。

40

【0003】

紫外発光する III 族窒化物半導体発光素子においては、Al Ga N 層が用いられることが多い。Ga N 層は、3 6 5 nm 以下の波長の光をよく吸収するためである。Al Ga N 層の内部では Mg 等のアクセプターは、大きなイオン化エネルギーをもつ。そのため、Al 組成の高い Al Ga N 層の内部では、正孔を発生させることが困難である。

【0004】

そのため、紫外発光素子に対して正孔を発光層に効率よく注入するための技術が開発されてきている。例えば、特許文献 1 には、活性層 1 0 3 を第 1 組成傾斜層 1 0 2、第 2 組

50

成傾斜層 104 で挟む構造が開示されている（特許文献 1 の段落 [0016] および図 1 等参照）。これにより、活性層 103 の周囲に正孔が存在するようにできることが記載されている（特許文献 1 の段落 [0025] - [0028] および図 4 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2015 - 002324 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】Applied Physics Express 10, 025502 (2017) 10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明者らは、組成が傾斜している AlGaIn 層を形成すると、その AlGaIn 層の内部で p 型化している部分と n 型化している部分とが生じるという問題を発見した（非特許文献 1 の図 5 (b)）。つまり、AlGaIn 層の内部で分極するのである。このため、発光素子の電気抵抗が上昇し、発光素子に電流が流れにくくなる。

【0008】

また、Al 組成の低い領域における AlGaIn 層は、365 nm 以下の波長の光をある程度吸収する。そのため、光の吸収も考慮して光取り出し効率の向上を検討する必要がある。 20

【0009】

本明細書の技術は、前述した従来技術が有する問題点を解決するためになされたものである。本明細書の技術が解決しようとする課題は、AlGaIn 層における Al 組成の変化に起因して AlGaIn 層の内部に p 型化した部分と n 型化した部分とが発生する分極の影響を低減するとともに、光取り出し効率の向上を図った III 族窒化物半導体発光素子とその製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

第 1 の態様における III 族窒化物半導体発光素子は、基板と、基板の上の n 型半導体層と、n 型半導体層の上の発光層と、発光層の上の p 型半導体層と、を有する。この III 族窒化物半導体発光素子の発光波長は 380 nm 以下である。p 型半導体層は、第 1 の p 型コンタクト層と第 2 の p 型コンタクト層とを有する。第 1 の p 型コンタクト層は、第 2 の p 型コンタクト層と発光層との間の位置に配置されている。第 1 の p 型コンタクト層は、p 型 AlGaIn 層である。第 2 の p 型コンタクト層は、p 型 AlGaIn 層である。第 1 の p 型コンタクト層における Al 組成は、発光層から遠ざかるほど小さい。第 2 の p 型コンタクト層における Al 組成は、発光層から遠ざかるほど小さい。第 2 の p 型コンタクト層における Al 組成は、第 1 の p 型コンタクト層における Al 組成よりも小さい。第 2 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率は、第 1 の p 型コンタクト層 40

【0011】

この III 族窒化物半導体発光素子は、第 1 の p 型コンタクト層および第 2 の p 型コンタクト層の 2 層を有する。第 1 の p 型コンタクト層および第 2 の p 型コンタクト層においては、発光層から遠ざかるにしたがって Al 組成が減少する。これにより、正孔濃度が増加する。そして、第 2 の p 型コンタクト層の膜厚を第 1 の p 型コンタクト層の膜厚より薄くする。また、第 2 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率は、第 1 の p 型コンタクト層における単位膜厚に対する Al 組成の変化率よりも急峻である。そのため、p 型コンタクト層における n 型化している領域を可能な限り小さくすることができる。すなわち、Al 組成を単調減少させる Al 組成傾斜層に起因する分極の影響を極力 50

排除することができる。したがって、このIII族窒化物半導体発光素子においては、Al組成傾斜層に起因する電気抵抗の増加が抑制されている。

【発明の効果】

【0012】

本明細書では、AlGa_xN層におけるAl組成の変化に起因してAlGa_xN層の内部にp型化した部分とn型化した部分とが発生する分極の影響を低減するとともに、光取り出し効率の向上を図ったIII族窒化物半導体発光素子とその製造方法が提供されている。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1の実施形態における半導体発光素子の概略構成を示す図である。 10

【図2】第1の実施形態の半導体発光素子のp型半導体層における膜厚とAl組成との関係を示すグラフである。

【図3】第1の実施形態の半導体発光素子のp型半導体層における膜厚とMg濃度との関係を示すグラフである。

【図4】第1の実施形態の半導体発光素子におけるAlGa_xN層について組成を傾斜させた場合の正味の分極電荷分布を示すグラフである。

【図5】実施例における発光素子の積層構造を示す図である。

【図6】比較例における発光素子の積層構造を示す図である。

【図7】発光素子に流れる電流と光出力との関係を示すグラフである。

【図8】比較例の発光素子の光出力に対する実施例の発光素子の光出力の比を示すグラフである。 20

【図9】第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚と光の透過率との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、具体的な実施形態について、III族窒化物半導体発光素子とその製造方法を例に挙げて図を参照しつつ説明する。しかし、本明細書の技術はこれらの実施形態に限定されるものではない。また、後述する半導体発光素子の各層の積層構造および電極構造は、例示である。実施形態とは異なる積層構造であってももちろん構わない。そして、それぞれの図における各層の厚みの比は、概念的に示したものであり、実際の厚みの比を示しているわけではない。本明細書において、紫外線とは、波長が10nm以上380nm以下の光を指すものとする。 30

【0015】

(第1の実施形態)

1. 半導体発光素子

本実施形態の発光素子100の概略構成を図1に示す。発光素子100は、フリップチップ型の発光素子である。発光素子100の発光波長は10nm以上380nm以下である。発光素子100は、III族窒化物半導体から成る複数の半導体層を有する。図1に示すように、発光素子100は、基板110と、バッファ層120と、n型半導体層130と、発光層140と、電子ブロック層150と、第1のp型コンタクト層160と、第2のp型コンタクト層170と、透明電極TE1と、分布ブラッグ反射膜DBR1と、p電極P1と、n電極N1と、を有している。 40

【0016】

基板110の第1面110a上には、バッファ層120と、n型半導体層130と、発光層140と、電子ブロック層150と、第1のp型コンタクト層160と、第2のp型コンタクト層170とが、この順序で形成されている。n電極N1は、n型半導体層130の上に形成されている。p電極P1は、透明電極TE1に接触して形成されている。

【0017】

ここで、n型半導体層130は、n型半導体層である。n型半導体層は、第1導電型の第1半導体層である。電子ブロック層150と、第1のp型コンタクト層160と、第2 50

の p 型コンタクト層 170 とは、p 型半導体層である。p 型半導体層は、第 2 導電型の第 2 半導体層である。これらの n 型半導体層および p 型半導体層は、ノンドープの層を部分的に含んでいる場合がある。このように、発光素子 100 は、n 型半導体層と、n 型半導体層の上の発光層と、発光層の上の p 型半導体層と、p 型半導体層の上の透明電極 TE1 と、透明電極 TE1 の上の p 電極 P1 と、n 型半導体層の上の n 電極 N1 と、透明電極 TE1 の上の分布ブラッグ反射膜 DBR1 と、を有する。

【0018】

基板 110 は、各半導体層を支持する支持基板である。基板 110 は、第 1 面 110a および第 2 面 110b を有する。基板 110 の第 1 面 110a は、半導体層を成長させるための主面である。基板 110 の第 1 面 110a は、平坦であってもよいし、凹凸形状を有していてもよい。基板 110 の第 2 面 110b は、発光層 140 からの光を外部に取り出すための光取り出し面である。基板 110 の材質は、サファイアその他、AlGaIn、Si、SiC、ZnO 等その他の材質であってもよい。基板 110 は、もちろん、成長基板であってもよい。

10

【0019】

バッファ層 120 は、基板 110 の主面の状態をある程度引き継ぐとともに n 型半導体層 130 の成長核となりうる層である。バッファ層 120 は、低温 AlN 層、高温 AlN 層、AlGaIn 層である。また、バッファ層 120 は、これらの複数の層を含んでもよい。また、上記以外の III-V 族化合物を含んでもよい。

20

【0020】

n 型半導体層 130 は、例えば、Si をドープされた n 型 AlGaIn 層である。n 型半導体層 130 は、バッファ層 120 の上に形成されている。つまり、n 型半導体層 130 は、基板の上に位置している。n 型半導体層 130 は、n 型コンタクト層を有する。n 型コンタクト層は、n 電極 N1 と接触している。n 型半導体層 130 は、積層方向に対して組成が傾斜している n 型 AlGaIn 層を有していてもよい。

【0021】

発光層 140 は、電子と正孔とが再結合することにより発光する層である。発光層 140 は、n 型半導体層 130 の上に形成されている。発光層 140 は、複数の障壁層と複数の井戸層とを有している。井戸層として、例えば、AlGaIn 層を用いることができる。障壁層として、例えば、AlGaIn 層を用いることができる。障壁層の Al 組成は、井戸層の Al 組成より大きい。これらは例示であり、その他の AlInGaIn 層であってもよい。発光層 140 は、多重量子井戸構造であるが、単一量子井戸構造であってもよい。

30

【0022】

電子ブロック層 150 は、発光層 140 の上に形成されている。電子ブロック層 150 は、電子が p 型コンタクト層 160 の側に拡散することを防止するための層である。電子ブロック層 150 は、例えば、複数の p 型 AlGaIn 層を積層したものである。第 1 の p 型 AlGaIn 層と第 2 の p 型 AlGaIn 層とでは、Al 組成および Mg 濃度は異なってもよい。電子ブロック層 150 は、積層方向に対して組成が傾斜している p 型 AlGaIn 層を有していてもよい。

40

【0023】

第 1 の p 型コンタクト層 160 は、電子ブロック層 150 の上に形成されている。第 1 の p 型コンタクト層 160 は、第 2 の p 型コンタクト層 170 と発光層 140 との間の位置に配置されている。第 1 の p 型コンタクト層 160 は、第 2 の p 型コンタクト層 170 と接触している。第 1 の p 型コンタクト層 160 は、p 電極 P1 と直接接触していない。第 1 の p 型コンタクト層 160 は、例えば、Mg をドープされた p 型 AlGaIn 層である。

【0024】

第 2 の p 型コンタクト層 170 は、第 1 の p 型コンタクト層 160 の上に形成されている。第 2 の p 型コンタクト層 170 は、透明電極 TE1 と接触している。第 2 の p 型コンタクト層 170 は、透明電極 TE1 を介して p 電極 P1 と電氣的に接続されている。第 2

50

の p 型コンタクト層 170 は、例えば、Mg をドーブされた p 型 AlGaIn 層である。第 2 の p 型コンタクト層 170 は、第 1 の p 型コンタクト層 160 の反対側に透明電極 TE1 と接触する接触面 171 を有する。

【0025】

透明電極 TE1 は、第 2 の p 型コンタクト層 170 の上に形成されている。透明電極 TE1 は、第 2 の p 型コンタクト層 170 の接触面 171 に接触している。透明電極 TE1 の材質は、ITO である。また、ITO の他に、IZO、ICO、ZnO、TiO₂、NbTiO₂、TaTiO₂ 等の透明な導電性酸化物を用いることができる。

【0026】

p 電極 P1 は、透明電極 TE1 の上に形成されている。p 電極 P1 は、透明電極 TE1 を介して第 2 の p 型コンタクト層 170 と電気的に接続されている。p 電極 P1 は、例えば、Ni、Au、Ag、Co、In 等の金属から成る金属電極である。

10

【0027】

n 電極 N1 は、n 型半導体層 130 の上に形成されている。n 電極 N1 は、n 型半導体層 130 と接触している。n 電極 N1 は、例えば、Ni、Au、Ag、Co、In 等の金属から成る金属電極である。

【0028】

2. 第 1 の p 型コンタクト層および第 2 の p 型コンタクト層

2-1. Al 組成

図 2 は、p 型半導体層における膜厚と Al 組成との関係を示すグラフである。図 2 の横軸は、電子ブロック層 150 から第 2 の p 型コンタクト層 170 にかけての膜厚である。図 2 の縦軸は、Al 組成である。

20

【0029】

図 2 に示すように、電子ブロック層 150 では、Al 組成は一定値をとっている。第 1 の p 型コンタクト層 160 では、発光層 140 から遠ざかるにつれて Al 組成が単調減少している。また、その減少率はほぼ一定である。第 2 の p 型コンタクト層 170 では、発光層 140 から遠ざかるにつれて Al 組成が単調減少している。また、その減少率はほぼ一定である。このように、第 1 の p 型コンタクト層 160 および第 2 の p 型コンタクト層 170 では、Al 組成が連続的に変化している。

【0030】

図 2 に示すように、第 2 の p 型コンタクト層 170 における Al 組成は、第 1 の p 型コンタクト層 160 における Al 組成よりも小さい。第 2 の p 型コンタクト層 170 の傾きは、第 1 の p 型コンタクト層 160 の傾きよりも大きい。つまり、第 2 の p 型コンタクト層 170 における単位膜厚に対する Al 組成の減少量は、第 1 の p 型コンタクト層 160 における単位膜厚に対する Al 組成の減少量よりも大きい。第 2 の p 型コンタクト層 170 における単位膜厚に対する Al 組成の変化率は、第 1 の p 型コンタクト層 160 における単位膜厚に対する Al 組成の変化率よりも急峻である。

30

【0031】

図 2 に示すように、第 2 の p 型コンタクト層 170 の電極側の接触面 171 では、Al 組成は 0 以上 0.01 以下である。好ましくは、0.001 以下である。すなわち、接触面 171 の位置では、Al 組成はほぼゼロである。

40

【0032】

2-2. Mg 濃度

図 3 は、p 型半導体層における膜厚と Mg 濃度との関係を示すグラフである。図 3 の横軸は、電子ブロック層 150 から第 2 の p 型コンタクト層 170 にかけての膜厚である。図 3 の縦軸は、Mg 濃度である。

【0033】

図 3 に示すように、電子ブロック層 150 では、Mg 濃度は一定値をとっている。第 1 の p 型コンタクト層 160 では、発光層 140 から遠ざかるにつれて Mg 濃度が単調増加している。第 2 の p 型コンタクト層 170 では、発光層 140 から遠ざかるにつれて Mg

50

濃度が単調増加している。なお、図3においては、Mg濃度の増加量は直線的に増加しているが、実際には曲線を描く。

【0034】

図3に示すように、第2のp型コンタクト層170におけるMgドーピング量は、第1のp型コンタクト層160におけるMgドーピング量よりも大きい。第2のp型コンタクト層170の傾きは、第1のp型コンタクト層160の傾きよりも大きい。つまり、第2のp型コンタクト層170における単位膜厚に対するMg濃度の増加量は、第1のp型コンタクト層160における単位膜厚に対するMg濃度の増加量よりも大きい。第2のp型コンタクト層170における単位膜厚に対するMgドーピング量の変化率は、第1のp型コンタクト層160における単位膜厚に対するMgドーピング量の変化率よりも急峻である。

10

【0035】

2-3. 膜厚

第2のp型コンタクト層170の膜厚は、第1のp型コンタクト層160の膜厚よりも薄い。第1のp型コンタクト層160の膜厚は、50nm以上200nm以下である。第2のp型コンタクト層170の膜厚は、5nm以上50nm以下である。好ましくは、10nm以上40nm以下である。より好ましくは、15nm以上35nm以下である。

【0036】

3. 組成傾斜の問題点(従来構造の問題点)

図4は、AlGaIn層について組成を傾斜させた場合の正味の分極電荷濃度を示すグラフである。図4の横軸は、膜厚方向の深さ(nm)である。図4の縦軸は、正味の分極電荷濃度(cm^{-3})である。なお、図4の縦軸の上側には、その膜厚におけるAl組成が記載されている。つまり、深さ0nmにおいてAl組成が0であり、深さ100nmにおいてAl組成が0.65であるAlGaIn層(サンプル)についての理論計算結果である。なお、このAlGaIn層(サンプル)には不純物はドーピングされていない。

20

【0037】

図4に示すように、深さ0nm以上30nm以下の領域では、正電荷が集中している。この正電荷の集中を打ち消すために、深さ0nm以上30nm以下の領域には、電子が集中しやすい。つまり、深さ0nm以上30nm以下の領域では、AlGaIn層がn型化している。

【0038】

一方、深さ30nm以上100nm以下の領域では、負電荷が集中している。この負電荷の集中を打ち消すために、深さ30nm以上100nm以下の領域には、正孔が集中しやすい。つまり、深さ30nm以上100nm以下の領域では、AlGaIn層がp型化している。

30

【0039】

このように、Al組成を傾斜させたAlGaIn層は分極する。この分極の度合いは十分に大きい。このように分極の度合いが大きいため、不純物のドーピングによりn型化およびp型化を解消することは困難な場合がある。そしてこのような分極が生じると、電気抵抗は高くなる。電気抵抗の上昇にともなって発光効率は低下する。

【0040】

4. 分極

ここで分極についての検討結果について説明する。分極正電荷は次式を満たす。

$$N = x \times 5 \times 10^{13} / d$$

N: 分極正電荷 (cm^{-3})

x: Al組成傾斜層におけるAl組成の差 (0 < x < 1)

d: Al組成傾斜層の膜厚 (cm)

Al組成の差xは、Al組成傾斜層の第1面のAl組成とAl組成傾斜層の第2面のAl組成との差である。例えば、Al組成傾斜層の第1面のAl組成が0.2であり、第2面のAl組成が0であれば、Al組成の差xは0.2である。

40

【0041】

50

例えば、 $x = 0.2$ 、 $d = 30 \times 10^{-7} \text{ cm}$ とすると、 $N = 3.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。 $x = 0.5$ 、 $d = 10 \times 10^{-7} \text{ cm}$ とすると、 $N = 2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。そのため、この N と同数の Mg を第2のp型コンタクト層170に添加することで第2のp型コンタクト層170の分極正電荷を打ち消す。そしてさらに N と同数の Mg を第2のp型コンタクト層170に導入することにより、第2のp型コンタクト層170をp型化する。

【0042】

本実施形態では、正孔濃度を増加させるために、第2のp型コンタクト層170におけるAl組成を急峻に変化させる。そして、光の吸収を抑制するために、第2のp型コンタクト層170の膜厚を薄くする。この場合には、分極の度合いが従来に比べて大きい。そのため、 Mg のドーピング量を大幅に増加させる必要がある。例えば、 Mg のドーピング量は、通常の2倍以上である。

10

【0043】

5. 本実施形態の効果

5-1. 正孔濃度の増加

本実施形態の発光素子100においては、p型コンタクト層を第1のp型コンタクト層160と第2のp型コンタクト層170との2層を有する。第1のp型コンタクト層160および第2のp型コンタクト層170においては、発光層140から遠ざかるにしたがってAl組成が減少する。これにより、正孔濃度が増加する(特許文献1の段落[0025]-[0028]および図4参照)。

20

【0044】

5-2. 分極の影響の排除(電気抵抗の増加の抑制)

そして、第2のp型コンタクト層170の膜厚を第1のp型コンタクト層160の膜厚より薄くする。また、第2のp型コンタクト層170における単位膜厚に対するAl組成の変化率は、第1のp型コンタクト層160における単位膜厚に対するAl組成の変化率よりも大きい。そのため、p型コンタクト層におけるn型化している領域(電子集中領域)を可能な限り小さくすることができる。すなわち、Al組成を単調減少させるAl組成傾斜層に起因する分極の影響を極力排除することができる。したがって、本実施形態の発光素子100においては、Al組成傾斜層に起因する電気抵抗の増加が抑制されている。

30

【0045】

そして、第2のp型コンタクト層170における Mg ドーピングにより、n型化を好適に抑制することができる。特に、第2のp型コンタクト層170においては、電極側の接触面171に近づくほど Mg 濃度が急峻に上昇する。これにより、p型コンタクト層におけるn型化している領域をp型化することができる。したがって、Al組成を単調減少させるAl組成傾斜層に起因する分極の影響を極力排除することができる。

【0046】

5-3. 格子緩和と正孔濃度

第2のp型コンタクト層170の接触面171の側では、Al組成は0以上0.2以下である。Al組成傾斜層であってAl組成が0以上0.2以下の領域では、格子緩和が生じる(非特許文献1の図5(a))。このように格子緩和が生じる領域に対して、Al組成が小さくなるほど Mg のドーピング量を増やすことにより、より多くの正孔を発生させることができる。

40

【0047】

5-4. 紫外線の吸収の抑制

第1のp型コンタクト層160および第2のp型コンタクト層170は、いずれもp型AlGaIn層である。発光素子100は、GaIn層を有さない。また、Al組成が低いAlGaIn層の膜厚は十分に薄い。そのため、発光素子100の半導体層は、紫外線をそれほど吸収しない。

【0048】

5-5. p型コンタクト層の接触抵抗

50

第2のp型コンタクト層170の接触面171におけるAl組成はほとんど0である。したがって、第2のp型コンタクト層170は、透明電極TE1と好適にオーミック接触する。

【0049】

6. 半導体発光素子の製造方法

この製造方法は、基板の上にn型半導体層を形成する工程と、n型半導体層の上に発光層を形成する工程と、発光層の上にp型半導体層を形成する工程と、を有する。p型半導体層を形成する工程は、発光層の側から第1のp型コンタクト層を形成する工程と、第1のp型コンタクト層の上に第2のp型コンタクト層を形成する工程と、を有する。

【0050】

ここで用いるキャリアガスとして、水素(H_2)もしくは窒素(N_2)もしくは水素と窒素との混合気体($H_2 + N_2$)が挙げられる。後述する各工程において、特に言及がない場合には、これらのいずれを用いてもよい。窒素源として、アンモニアガス(NH_3)を用いる。Ga源として、トリメチルガリウム($Ga(CH_3)_3$:「TMG」)を用いる。Al源として、トリメチルアルミニウム($Al(CH_3)_3$:「TMA」)を用いる。n型ドーパントガスとして、シラン(SiH_4)を用いる。p型ドーパントガスとして、ピス(シクロペンタジエニル)マグネシウム($Mg(C_5H_5)_2$)を用いる。

【0051】

6-1. 基板準備工程

まず、基板110を準備する。そして、例えば、MOCVD炉のチャンバーの内部のセプターに基板110を配置する。

【0052】

6-2. 基板洗浄工程

次に、基板温度を1000以上に加熱する。そして、水素ガスをチャンバーの内部に供給する。これにより、基板110の主面は洗浄されるとともに還元される。

【0053】

6-3. バッファ層形成工程

次に、基板110の上にバッファ層120を形成する。バッファ層120として、例えば、低温AlN層、高温AlN層、AlGaIn層のいずれかを形成する。または、これらの複数層を形成してもよい。そして、上記以外のIII-V族化合物を形成してもよい。

【0054】

6-4. n型半導体層形成工程

次に、バッファ層120の上にn型半導体層130を形成する。このときの基板温度は、900以上1200以下の範囲内である。この工程で、n型コンタクト層を形成する。また、基板110から発光層140に向かうにつれてAl組成の異なる組成傾斜層を設けてもよい。

【0055】

6-5. 発光層形成工程

次に、n型半導体層130の上に発光層140を形成する。その際に、井戸層と障壁層とを交互に積層する。つまり、発光層形成工程は、複数の障壁層を形成する障壁層形成工程と、複数の井戸層を形成する井戸層形成工程と、を有する。基板温度は、900以上1200以下の範囲内である。

【0056】

6-6. 電子ブロック層形成工程

次に、発光層140の障壁層の上に電子ブロック層150を形成する。電子ブロック層150として、例えば、p型AlGaIn層を形成する。基板温度は、900以上1200以下の範囲内である。

【0057】

6-7. 第1のp型コンタクト層形成工程

次に、電子ブロック層150の上に第1のp型コンタクト層160を形成する。第1の

10

20

30

40

50

p型コンタクト層160としてp型AlGaN層を形成する。p型AlGaN層を形成する際に、上層にいくにしたがって、TMAの供給量を減少させる。つまり、第1のp型コンタクト層160におけるAl組成を発光層140から遠ざかるほど小さくする。TMAの供給量の減少にともなってTMGの供給量を増加させるとよい。

【0058】

また、上層にいくにしたがって、p型ドーパントガスであるビス(シクロペンタジエニル)マグネシウム($Mg(C_5H_5)_2$)の供給量を増加させる。なお、基板温度を、800以上1200以下の範囲内とする。

【0059】

6-8. 第2のp型コンタクト層形成工程

10

次に、第1のp型コンタクト層160の上に第2のp型コンタクト層170を形成する。第2のp型コンタクト層170としてp型AlGaN層を形成する。p型AlGaN層を形成する際に、上層にいくにしたがって、TMAの供給量を減少させる。つまり、第2のp型コンタクト層170におけるAl組成を発光層から遠ざかるほど小さくする。TMAの供給量の減少にともなってTMGの供給量を増加させるとよい。

【0060】

第2のp型コンタクト層170におけるAl組成を、第1のp型コンタクト層160におけるAl組成よりも小さくする。第2のp型コンタクト層170における単位膜厚に対するAl組成の変化率を、第1のp型コンタクト層160における単位膜厚に対するAl組成の変化率よりも大きくする。つまり、第2のp型コンタクト層170を形成する際のTMAの供給量の単位時間当たりの減少幅は、第1のp型コンタクト層160を形成する際のTMAの供給量の単位時間当たりの減少幅よりも大きい。

20

【0061】

また、上層にいくにしたがって、p型ドーパントガスであるビス(シクロペンタジエニル)マグネシウム($Mg(C_5H_5)_2$)の供給量を増加させる。また、キャリアガスとして、少なくとも水素ガスを供給するとよい。これにより、第2のp型コンタクト層170の表面平坦性は向上する。基板温度を、800以上1200以下の範囲内とする。

【0062】

6-9. 透明電極形成工程

次に、第2のp型コンタクト層170の上に透明電極TE1を形成する。その際、スパッタリング技術を用いてもよいし、蒸着技術を用いてもよい。

30

【0063】

6-10. 電極形成工程

そして、レーザーもしくはエッチングにより、第2のp型コンタクト層170の側から半導体層の一部を抉ってn型半導体層130の一部を露出させる。そして、その露出箇所、n電極N1を形成する。また、透明電極TE1の上にp電極P1を形成する。p電極P1の形成工程とn電極N1の形成工程は、いずれを先に行ってもよい。

【0064】

6-11. その他の工程

また、上記の工程の他、絶縁膜で素子を覆う工程や熱処理工程等、その他の工程を実施してもよい。以上により、図1の発光素子100が製造される。

40

【0065】

7. 実験

7-1. 実施例の構造

図5は、実施例における発光素子の積層構造を示す図である。図5に示すように、実施例における発光素子は、c面サファイア基板と、AlNバッファ層と、アンドープの $Al_{0.99}Ga_{0.01}N$ 層と、n型 $Al_xGa_{1-x}N$ 傾斜層と、n型 $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 層と、AlGaN発光層と、p型 $Al_{0.8}Ga_{0.2}N$ 層と、第1のp型 $Al_xGa_{1-x}N$ 傾斜層と、第2のp型 $Al_xGa_{1-x}N$ 傾斜層と、を順に積層した構造体を有する。

【0066】

50

n型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の Al 組成は、アンドープの $Al_{0.99}Ga_{0.01}N$ 層から n 型 $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 層に向かうにつれて、1 から 0.6 に単調減少している。

【0067】

$AlGaN$ 発光層は、 $AlGaN$ の井戸層と $AlGaN$ の障壁層とを有する。障壁層の Al 組成は井戸層の Al 組成よりも大きい。井戸層は 3 層である。

【0068】

第 1 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層は、第 1 の p 型コンタクト層 160 に相当する。第 1 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の Al 組成は、p 型 $Al_{0.8}Ga_{0.2}N$ 層から第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層に向かうにつれて、0.8 から 0.4 に単調減少している。第 1 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の膜厚は 100 nm である。

10

【0069】

第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層と、第 2 の p 型コンタクト層 170 に相当する。第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の Al 組成は、第 1 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層から離れるにつれて、0.4 から 0 に単調減少している。第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の膜厚は 30 nm である。

【0070】

7 - 2 . 比較例の構造

図 6 は、比較例における発光素子の積層構造を示す図である。図 6 の比較例における発光素子と図 5 の実施例における発光素子とは、p 型コンタクト層のみが異なっている。比較例の発光素子の p 型コンタクト層は、1 層のみの p 型 GaN 層である。

20

【0071】

7 - 3 . 光出力の電流依存性

図 7 は、発光素子に流れる電流と光出力との関係を示すグラフである。図 7 の横軸は発光素子に流れる電流 (mA) である。図 7 の縦軸は発光素子の光出力 (a.u.) である。図 7 に示すように、50 mA 以下の電流値において、実施例の発光素子の光出力は、比較例の発光素子の光出力よりも大きい。

【0072】

図 8 は、比較例の発光素子の光出力に対する実施例の発光素子の光出力の比を示すグラフである。図 8 の横軸は発光素子に流れる電流 (mA) である。図 8 の縦軸は、比較例の発光素子の光出力に対する実施例の発光素子の光出力の比である。図 8 では、10 mA 以下の領域はプロットを省略してある。図 8 に示すように、10 mA 以上 50 mA 以下の電流値において、実施例の発光素子の明るさは、比較例の発光素子の明るさの 1.4 倍以上である。また、電流値が 10 mA の場合には、実施例の発光素子の明るさは、比較例の発光素子の明るさの 1.8 倍程度である。

30

【0073】

このように、実施例の発光素子の光出力は、比較例の発光素子の光出力に比べて十分に大きい。

【0074】

7 - 4 . 透過率の波長依存性

図 5 に示す実施例の構造体に波長の異なる光を照射し、その光の透過率を測定した。そのため、第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の膜厚を 0 nm、25 nm、50 nm、100 nm のサンプルを作製した。ここで 0 nm とは、第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層を成膜しなかったサンプルを示している。なお、第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の表面における Al 組成は 0 である。ただし、第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の膜厚が 0 nm のサンプルの表面における Al 組成は 0.4 である。

40

【0075】

図 9 は、第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の膜厚と光の透過率との関係を示すグラフである。図 9 の横軸は光の波長である。図 9 の縦軸は光の透過率である。第 2 の p 型 $Al_x Ga_{1-x}N$ 傾斜層の膜厚が 0 nm、25 nm、50 nm、100 nm の場合をそれぞれ、実線、破線、一点鎖線、二点鎖線で示している。

50

【0076】

図9に示すように、第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚が厚いほど、光の透過率は小さくなる傾向がある。ここで例えば、波長が300nmの場合について説明する。第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚が0nmの場合の透過率は、65%程度である。第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚が25nmの場合の透過率は、48%程度である。第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚が50nmの場合の透過率は、33%程度である。第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚が100nmの場合の透過率は、18%程度である。

【0077】

第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚が0nmの場合には、第1のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層が接触面を有する。第1のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層のAl組成は0.4である。そのため、第1のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層が透明電極等と好適なオーミックコンタクトをとることは困難である。したがって、第2のp型Al_xGa_{1-x}N傾斜層の膜厚は5nm以上50nm以下であるとよい。

10

【0078】

8. 変形例

8-1. フェイスアップ型の発光素子

本実施形態の発光素子100はフリップチップ型の半導体発光素子である。しかし、フェイスアップ型の半導体発光素子に本明細書の技術を適用することも可能である。

【0079】

8-2. n型半導体層

n型半導体層の積層構造は、上記の実施形態以外の構造であってもよい。例えば、n型半導体層130は、ノンドープの半導体層を含んでもよい。また、Al組成傾斜層を含んでもよい。

20

【0080】

8-3. p型半導体層

p型半導体層の積層構造は、上記の実施形態以外の構造であってもよい。例えば、p型半導体層は、ノンドープの半導体層を含んでもよい。また、Al組成傾斜層を含んでもよい。

【0081】

8-4. 反射層

発光素子100は、分布ブラッグ反射膜DBR1およびp電極P1が発光層140からの光を光取り出し面の側に反射する。しかし、発光素子は、上記以外の反射層を有していてもよい。

30

【0082】

8-5. 組み合わせ

上記の変形例を自由に組み合わせてもよい。

【0083】

9. 本実施形態のまとめ

以上詳細に説明したように、本実施形態の発光素子100は、第1のp型コンタクト層160および第2のp型コンタクト層170を有する。第1のp型コンタクト層160および第2のp型コンタクト層170においては、発光層140から遠ざかるにしたがってAl組成が減少する。これにより、正孔濃度が増加する。第2のp型コンタクト層170の膜厚を第1のp型コンタクト層160の膜厚より薄くするとともに、第2のp型コンタクト層170の組成の変化率を急峻にしている。したがって、Al組成傾斜層に起因する分極の影響を極力排除することができる。

40

【0084】

A. 付記

第1の態様におけるIII族窒化物半導体発光素子は、基板と、基板の上のn型半導体層と、n型半導体層の上の発光層と、発光層の上のp型半導体層と、を有する。このIII族

50

窒化物半導体発光素子の発光波長は380nm以下である。p型半導体層は、第1のp型コンタクト層と第2のp型コンタクト層とを有する。第1のp型コンタクト層は、第2のp型コンタクト層と発光層との間の位置に配置されている。第1のp型コンタクト層は、p型AlGaN層である。第2のp型コンタクト層は、p型AlGaN層である。第1のp型コンタクト層におけるAl組成は、発光層から遠ざかるほど小さい。第2のp型コンタクト層におけるAl組成は、発光層から遠ざかるほど小さい。第2のp型コンタクト層におけるAl組成は、第1のp型コンタクト層におけるAl組成よりも小さい。第2のp型コンタクト層における単位膜厚に対するAl組成の変化率は、第1のp型コンタクト層における単位膜厚に対するAl組成の変化率よりも大きい。

【0085】

第2の態様におけるIII族窒化物半導体発光素子においては、第1のp型コンタクト層におけるMgドーパ量は、発光層から遠ざかるほど大きい。第2のp型コンタクト層におけるMgドーパ量は、発光層から遠ざかるほど大きい。第2のp型コンタクト層におけるMgドーパ量は、第1のp型コンタクト層におけるMgドーパ量よりも大きい。第2のp型コンタクト層における単位膜厚に対するMgドーパ量の変化率は、第1のp型コンタクト層における単位膜厚に対するMgドーパ量の変化率よりも大きい。

【0086】

第3の態様におけるIII族窒化物半導体発光素子においては、第2のp型コンタクト層の膜厚は、第1のp型コンタクト層の膜厚よりも薄い。光を吸収しやすい第2のp型コンタクト層の膜厚が比較的薄いため、光取り出し効率は高い。

【0087】

第4の態様におけるIII族窒化物半導体発光素子においては、第2のp型コンタクト層の膜厚は、5nm以上50nm以下である。光を吸収しやすい第2のp型コンタクト層の膜厚がこの範囲の場合に、光取り出し効率は高い。

【0088】

第5の態様におけるIII族窒化物半導体発光素子は、第2のp型コンタクト層の上の透明電極を有する。第2のp型コンタクト層は、第1のp型コンタクト層の反対側に透明電極と接触する接触面を有する。接触面におけるAl組成が、0以上0.01以下である。

【0089】

第6の態様におけるIII族窒化物半導体発光素子の製造方法は、基板の上にn型半導体層を形成する工程と、n型半導体層の上に発光層を形成する工程と、発光層の上にp型半導体層を形成する工程と、を有する。III族窒化物半導体発光素子の発光波長は380nm以下である。p型半導体層を形成する工程は、発光層の側から第1のp型コンタクト層を形成する工程と、第1のp型コンタクト層の上に第2のp型コンタクト層を形成する工程と、を有する。第1のp型コンタクト層を形成する工程では、第1のp型コンタクト層としてp型AlGaN層を形成し、第1のp型コンタクト層におけるAl組成を発光層から遠ざかるほど小さくする。第2のp型コンタクト層を形成する工程では、第2のp型コンタクト層としてp型AlGaN層を形成し、第2のp型コンタクト層におけるAl組成を発光層から遠ざかるほど小さくする。そして、第2のp型コンタクト層におけるAl組成を、第1のp型コンタクト層におけるAl組成よりも小さくし、第2のp型コンタクト層における単位膜厚に対するAl組成の変化率を、第1のp型コンタクト層における単位膜厚に対するAl組成の変化率よりも大きくする。

【符号の説明】

【0090】

100...発光素子

110...基板

120...パuffers層

130...n型半導体層

140...発光層

150...電子ブロック層

10

20

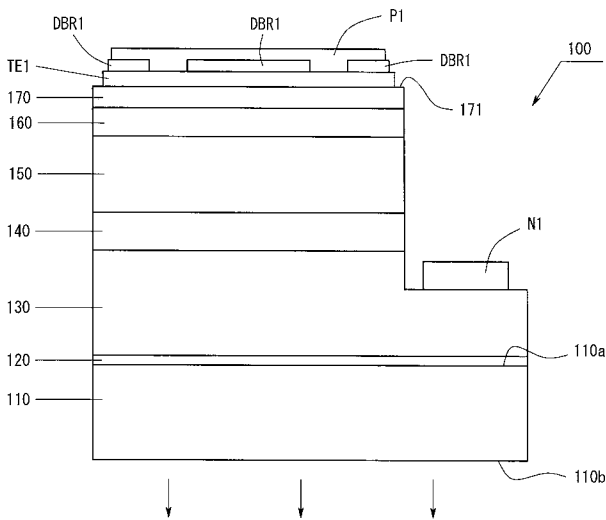
30

40

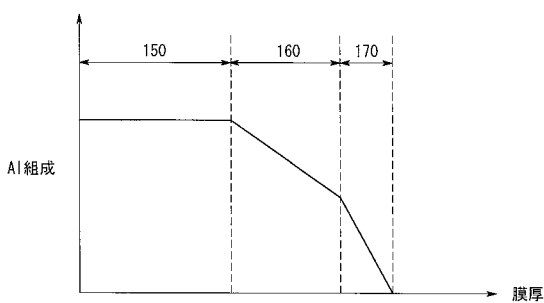
50

- 160 ... 第1のp型コンタクト層
- 170 ... 第2のp型コンタクト層
- 171 ... 接触面
- TE1 ... 透明電極
- DBR1 ... 分布ブラッグ反射膜
- N1 ... n電極
- P1 ... p電極

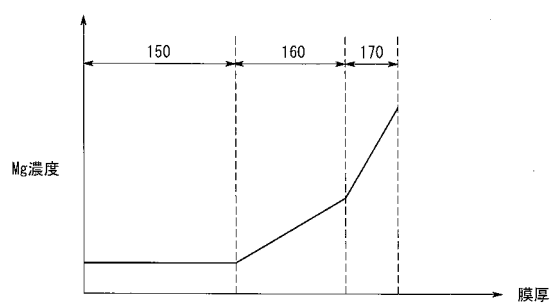
【図1】



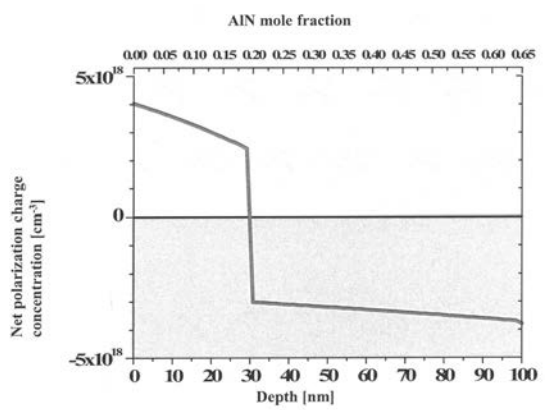
【図2】



【図3】



【図4】



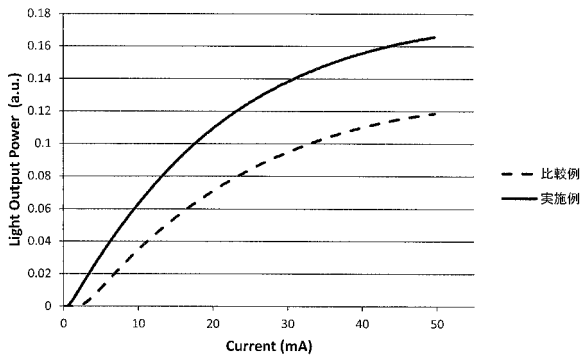
【 図 5 】

| |
|---|
| p-graded- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}(x:0.4-0)$ |
| p-graded- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}(x:0.8-0.4)$ |
| p- $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ |
| AlGaN/AlGaN 3QWs |
| n- $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ |
| n-graded- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}(x:1-0.6)$ |
| undoped $\text{Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{N}$ |
| AlN buffer |
| c-plane Sapphire |

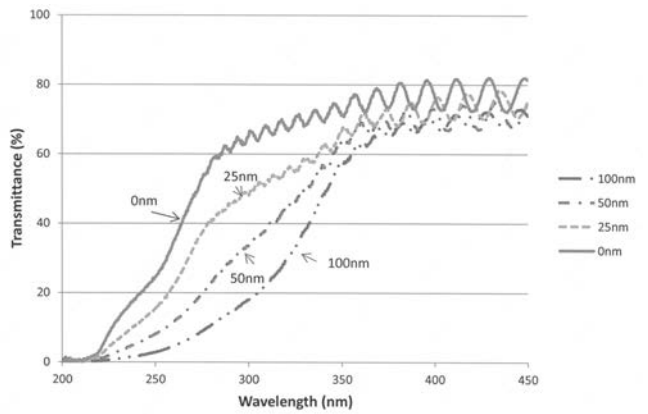
【 図 6 】

| |
|---|
| p-GaN |
| p- $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ |
| AlGaN/AlGaN 3QWs |
| n- $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ |
| n-graded- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}(x:1-0.6)$ |
| undoped $\text{Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{N}$ |
| AlN buffer |
| c-plane Sapphire |

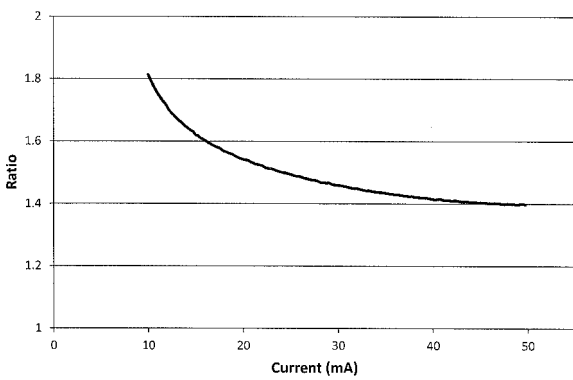
【 図 7 】



【 図 9 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 上山 智
愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目5 0 1 番地 学校法人名城大学内
- (72)発明者 岩谷 素顕
愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目5 0 1 番地 学校法人名城大学内
- (72)発明者 赤 崎 勇
愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目5 0 1 番地 学校法人名城大学内
- (72)発明者 小島 久範
愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目5 0 1 番地 学校法人名城大学内
- (72)発明者 安田 俊輝
愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目5 0 1 番地 学校法人名城大学内
- (72)発明者 飯田 一喜
愛知県清須市春日長畑 1 番地 豊田合成株式会社内

F ターム(参考) 5F045 AA04 AB17 AC08 AC12 AC15 AC19 AD12 AD13 AD14 AD15
AD16 AF02 AF03 AF04 AF06 AF09 BB16 CA12 DA53 DA55
DA58
5F173 AF22 AF38 AH22
5F241 AA03 CA05 CA40 CA49 CA57 CA88 CB15 CB36