

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5337862号  
(P5337862)

(45) 発行日 平成25年11月6日(2013.11.6)

(24) 登録日 平成25年8月9日(2013.8.9)

(51) Int.Cl. F I  
 HO 1 L 33/32 (2010.01) HO 1 L 33/00 1 8 6  
 HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-276729 (P2011-276729)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成23年12月19日(2011.12.19)	(74) 代理人	100108062 弁理士 日向寺 雅彦
(62) 分割の表示	特願2010-31457 (P2010-31457) の分割	(72) 発明者	橘 浩一 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
原出願日	平成22年2月16日(2010.2.16)	(72) 発明者	名古 肇 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(65) 公開番号	特開2012-60172 (P2012-60172A)	(72) 発明者	彦坂 年輝 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(43) 公開日	平成24年3月22日(2012.3.22)		
審査請求日	平成23年12月19日(2011.12.19)		
早期審査対象出願			
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

サファイア基板の上に形成され、窒化物半導体を含むn型半導体層と、  
G a Nのp型半導体層と、  
 前記n型半導体層と前記p型半導体層との間に設けられ、窒化物半導体を含む複数の量子井戸層を含む発光部と、  
 前記発光部と前記p型半導体層との間に設けられ、0.001以上0.05以下の第1A1組成比を有するA1GaNを含み、0.5ナノメートル以上5ナノメートル以下の厚さを有する第1層と、  
 前記第1層と前記p型半導体層との間において前記p型半導体層に接して設けられ、0.1以上0.2以下の第2A1組成比を有するA1GaNを含みp型不純物濃度が前記第1層よりも高い第2層と、  
 前記第1層と前記発光部との間において、前記複数の量子井戸層のうちで前記p型半導体層に最も近いp側量子井戸層に接し、厚さが3ナノメートル以上で8ナノメートル以下であり、 $In_{z_1}Ga_{1-z_1}N$  ( $0 < z_1 < 1$ ) を含む中間層と、  
 を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】

前記第1層と前記第2層との間に設けられ、前記第1A1組成比と前記第2A1組成比との間の第3A1組成比を有するA1GaNからなる第3層をさらに備えたことを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

## 【請求項 3】

前記第 1 層から前記第 2 層に向かって、A 1 組成比が漸増することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、半導体発光素子に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

窒化ガリウム (GaN) などの窒化物系 III-V 族化合物半導体を応用して、高輝度の紫外～青色・緑色発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) や青紫色～青色・緑色レーザダイオード (LD: Laser Diode) などの半導体発光素子が開発されている。

10

## 【0003】

LED の高効率化のためには、GaN 系半導体の結晶性を高め、欠陥を減らして非発光再結合中心を減らし、結晶の内部量子効率を高めることが重要である。また、活性層で電子と正孔がいかに発光再結合できるかも重要である。電子は、活性層からオーバーフローしやすい傾向にある。一方、正孔は、p 型不純物の活性化率が低いため、キャリア密度が低くなりやすい傾向にある。

## 【0004】

特許文献 1 には、活性層と p 型クラッド層との間に、活性層の分解を防止するように N<sub>2</sub> ガスを用いて成長させた層と、電位障壁を形成するように H<sub>2</sub> ガスを用いて成長させた層とを有するキャップ層を設ける構成が提案されている。

20

しかしながら、この技術においても発光効率の向上には改善の余地がある。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献 1】特許第 3446660 号明細書

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

30

本発明は、発光効率の高い半導体発光素子を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明の一態様によれば、サファイア基板の上に形成され、窒化物半導体を含む n 型半導体層と、GaN の p 型半導体層と、前記 n 型半導体層と前記 p 型半導体層との間に設けられ、窒化物半導体を含む複数の量子井戸層を含む発光部と、前記発光部と前記 p 型半導体層との間に設けられ、0.001 以上 0.05 以下の第 1 A 1 組成比を有する AlGaN を含み、0.5 ナノメートル以上 5 ナノメートル以下の厚さを有する第 1 層と、前記第 1 層と前記 p 型半導体層との間において前記 p 型半導体層に接して設けられ、0.1 以上 0.2 以下の第 2 A 1 組成比を有する AlGaN を含み p 型不純物濃度が前記第 1 層よりも高い第 2 層と、前記第 1 層と前記発光部との間において、前記複数の量子井戸層のうちで前記 p 型半導体層に最も近い p 側量子井戸層に接し、厚さが 3 ナノメートル以上で 8 ナノメートル以下であり、In<sub>z1</sub>Ga<sub>1-z1</sub>N (0 < z1 < 1) を含む中間層と、を備えたことを特徴とする半導体発光素子が提供される。

40

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、発光効率の高い半導体発光素子が提供される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図 1】半導体発光素子の構成を示す模式的断面図である。

50

【図2】半導体発光素子の一部を示す模式的断面図である。

【図3】半導体発光素子の特性を示す模式図である。

【図4】半導体発光素子の特性を示す模式図である。

【図5】比較例の半導体発光素子の特性を示す模式図である。

【図6】比較例の半導体発光素子の特性を示す模式図である。

【図7】半導体発光素子の特性を示すグラフ図である。

【図8】半導体発光素子の特性のシミュレーション結果を示す模式図である。

【図9】半導体発光素子の特性の示すグラフ図である。

【図10】半導体発光素子の特性を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0010】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

なお、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0011】

(実施の形態)

図1は、本発明の実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

20

図2は、本発明の実施形態に係る半導体発光素子の一部の構成を例示する模式的断面図である。

図1に表したように、本発明の実施形態に係る半導体発光素子110は、窒化物半導体を含むn型半導体層10と、窒化物半導体を含むp型半導体層20と、n型半導体層110とp型半導体層20との間に設けられ、量子井戸層を含む発光部30と、第1層41と、第2層42と、中間層40mと、を備える。

【0012】

図1に例示したように、n型半導体層10、発光部30、中間層40m、第1層41、第2層42及びp型半導体層20は、Z軸方向に沿って積層される。

30

【0013】

第1層41は、発光部30とp型半導体層20との間に設けられ、第1Al組成比 $x_1$ を有するAlGa<sub>1-x<sub>1</sub></sub>Nを含む。例えば、第1層41は、Al<sub>x<sub>1</sub></sub>Ga<sub>1-x<sub>1</sub></sub>Nを含む。第1Al組成比 $x_1$ は、0よりも大きく、1よりも小さい。具体的には、第1Al組成比は、例えば、0.001以上0.05以下である。

【0014】

第2層42は、第1層41とp型半導体層20との間に設けられ、第1Al組成比 $x_1$ よりも高い第2組成比 $x_2$ を有するAlGa<sub>1-x<sub>2</sub></sub>Nを含む。例えば、第2層42は、Al<sub>x<sub>2</sub></sub>Ga<sub>1-x<sub>2</sub></sub>Nを含む。第2Al組成比 $x_2$ は、0よりも大きく、1よりも小さく、第1Al組成比 $x_1$ よりも高い。具体的には、第2Al組成比 $x_2$ は、例えば、0.1以上0.2以下である。

40

【0015】

中間層40mは、第1層41と発光部30との間に設けられ、厚さが3nm(ナノメートル)以上で8nm以下である。中間層40mは、In<sub>z<sub>1</sub></sub>Ga<sub>1-z<sub>1</sub></sub>N(0 < z<sub>1</sub> < 1)を含む。すなわち、中間層40mは、実質的にAlを含まない。中間層40mには、例えばGa<sub>1-z<sub>1</sub></sub>NまたはInGa<sub>1-z<sub>1</sub></sub>Nが用いられる。

【0016】

図2に表したように、発光部30は、上記のZ軸方向に沿って互いに交互に積層された複数の障壁層31と、複数の井戸層32(量子井戸層)と、を含む。すなわち、発光部30は、Z軸方向に沿って互いに交互に積層された複数の障壁層31と、複数の障壁層31

50

のそれぞれの間には設けられた井戸層 3 2 と、を含む。

【 0 0 1 7 】

なお、図 2 に例示したように、本実施形態においては、n 型半導体層 1 0 には、井戸層 3 2 ではなく、障壁層 3 1 ( 複数の障壁層 3 1 のうちで、n 型半導体層 1 0 に最も近い障壁層 3 1 ) が接するものとする。また、発光部 3 0 のうちの p 型半導体層 2 0 の側には、井戸層 3 2 が配置されるものとする。すなわち、中間層 4 0 m には、井戸層 3 2 ( 複数の井戸層 3 2 のうちで、p 型半導体層 2 0 に最も近い井戸層 3 2 ) が接するものとする。

【 0 0 1 8 】

図 1 に例示したように、n 型半導体層 1 0 は、例えば、n 型 GaN 層 1 1 と、n 型 GaN 層 1 1 と発光部 3 0 との間に設けられた n 型ガイド層 1 2 と、を有することができる。n 型ガイド層 1 2 には、例えば、Si などの n 型不純物がドーピングされた GaN や InGa

10

【 0 0 1 9 】

N が用いられる。p 型半導体層 2 0 は、例えば、p 型 GaN コンタクト層 2 2 と、p 型 GaN コンタクト層 2 2 と第 2 層 4 2 との間に設けられた p 型 GaN 層 2 1 と、を有することができる。p 型半導体層 2 0 には、例えば Mg などの p 型不純物が高濃度でドーピングされる。

【 0 0 2 0 】

図 1 に表したように、本実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 は、例えばサファイアからなる基板 5 と、その上に設けられたバッファ層 6 と、バッファ層 6 の上に設けられた n 型 GaN 層 1 1 と、n 型 GaN 層 1 1 の上に設けられた n 型ガイド層 1 2 と、を含むこと

20

ができる。n 型 GaN 層 1 1 及び n 型ガイド層 1 2 が n 型半導体層 1 0 に相当する。

【 0 0 2 1 】

そして、n 型ガイド層 1 2 の上に発光部 3 0 ( 障壁層 3 1 及び井戸層 3 2 ) が設けられる。発光部 3 0 の上に中間層 4 0 m が設けられ、中間層 4 0 m の上に第 1 層 4 1 が設けられ、第 1 層 4 1 の上に第 2 層 4 2 が設けられる。

【 0 0 2 2 】

第 2 層 4 2 の上に p 型 GaN 層 2 1 が設けられ、p 型 GaN 層 2 1 の上に p 型 GaN コンタクト層 2 2 が設けられる。p 型 GaN 層 2 1 及び p 型 GaN コンタクト層 2 2 が、p 型半導体層 2 0 に相当する。

【 0 0 2 3 】

上記のような構成を有する積層構造体の p 型半導体層 2 0 の側の第 1 主面において、n 型半導体層 1 0 の一部と、発光部 3 0 と、中間層 4 0 m と、第 1 層 4 1 と、第 2 層 4 2 と、p 型半導体層 2 0 と、の一部が除去され、第 1 主面の側において n 型半導体層 1 0 が露出している。露出した n 型半導体層 1 0 に接して n 側電極 7 1 が設けられ、p 型半導体層 2 0 に接して p 側電極 8 1 が設けられる。

30

【 0 0 2 4 】

このような半導体発光素子 1 1 0 は、例えば以下のようにして製造される。

まず、サファイアからなる基板 5 の上に、バッファ層 6 を形成した後、n 型不純物がドーピングされた n 型 GaN 層 1 1 を結晶成長させる。n 型 GaN 層 1 1 の厚さは、例えば 4  $\mu$  m ( マイクロメートル ) 程度である。

40

【 0 0 2 5 】

結晶成長には、例えば有機金属気相成長法 ( MOCVD : Metal Organic Chemical Vapor Deposition ) が用いられる。この他、結晶成長には、分子線エピタキシー法 ( MBE : Molecular Beam Epitaxy ) が用いられる。n 型不純物には、例えば、Si、Ge 及び Sn など種々の元素を用いることが可能である。本具体例では、Si を用いる。Si のドーピング量として、例えば、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度が採用される。基板 5 には、サファイアその他、GaN、SiC、Si 及び GaAs など様々なものを用いることができる。

【 0 0 2 6 】

次に、n 型 GaN 層 1 1 の上に n 型ガイド層 1 2 を結晶成長させる。n 型ガイド層 1 2 には、例えば、n 型不純物が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度でドーピングされた GaN が用いられ

50

る。n型ガイド層12の厚さは、例えば、0.1 μm程度とされる。

【0027】

n型GaN層11及びn型ガイド層12を成長させる際の成長温度は、いずれも例えば、1000～1100である。

【0028】

また、n型ガイド層12として、GaNの他に、 $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ を用いることもできる。n型ガイド層12に $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ を用いる場合の成長温度は、例えば700～800である。なお、n型ガイド層12に $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ を用いる場合においても、n型ガイド層12の厚さとして、例えば0.1 μmが採用できる。

10

【0029】

次に、n型ガイド層12の上に、発光部30を形成する。例えば、 $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ を含む障壁層31と、アンドープの $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ を含む井戸層32とを、交互に8ペア積層した多重量子井戸(MQW: Multiple Quantum Well)構造を形成する。障壁層31のそれぞれの厚さは、例えば5.0 nmとされる。井戸層32のそれぞれの厚さは、例えば2.5 nmとされる。障壁層31及び井戸層32の成長温度は、例えば700～800である。なお、障壁層31には、n型不純物を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度でドーピングしても良く、障壁層31は、アンドープでも良い。

【0030】

発光部30の上に、例えばGaNからなる中間層40mを成長させる。中間層40mの厚さは、3 nm以上8 nm以下に設定される。本具体例では、中間層40mの厚さは、5 nmとされる。

20

【0031】

中間層40mの上に、第1層41を成長させる。第1層41には、例えば $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ が用いられる。すなわち、第1Al組成比x1は、0.05である。第1層41の厚さは、例えば5 nmである。

【0032】

第1層41の上に、第2層42を成長させる。第2層42には、 $Al_{0.20}Ga_{0.80}N$ が用いられる。すなわち、第2Al組成比x2は、0.20である。第2層42の厚さは、例えば5 nmである。本具体例では、第2層42に用いられる $Al_{0.20}Ga_{0.80}N$ には、例えば、Mgが $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度でドーピングされる。一方、第1層41に用いられる $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ にはMgがドーピングされていない。このように、第2層42におけるp型不純物濃度は、第1層41よりも高い。

30

【0033】

第2層42の上に、p型GaN層21を成長させる。p型GaN層21には、Mgが $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度でドーピングされる。p型GaN層21の厚さは、例えば50 nm程度である。p型GaN層21の成長温度は、例えば1000～1100である。

【0034】

p型GaN層21の上に、p型GaNコンタクト層22を成長させる。p型GaNコンタクト層22には、例えば、Mgが $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度でドーピングされる。p型GaNコンタクト層22の厚さは、例えば60 nm程度である。

40

【0035】

このような順次結晶成長を行ったウェーハに対して、以下のデバイスプロセスが実施される。

p型GaNコンタクト層22の上に、例えば酸化インジウム錫(ITO)からなるp側電極81が形成される。ITOの厚さは、例えば0.2 μmである。ITOの一部の上にはp側パッド電極82として、厚さが例えば1.0 μmのAu膜が形成される。

【0036】

p側電極81(及びp側パッド電極82)の形成の後、上記の積層構造体の一部にドライエッチングを施し、n型GaN層11の一部を露出させ、n型GaN層11の露出した

50

部分にn側電極71を形成する。n側電極71としては、例えば、チタン-白金-金(Ti/Pt/Au)の複合膜が用いられる。このTi膜の厚さは例えば0.05 $\mu$ m程度であり、Pt膜の厚さは例えば0.05 $\mu$ m程度であり、Au膜の厚さは例えば1.0 $\mu$ m程度である。

このようにして、半導体発光素子110が作製される。

#### 【0037】

LEDのような半導体発光素子においては、発光部30から電子がオーバーフローしやすい傾向にある。一方、p型不純物の活性化率が低いため、正孔のキャリア密度が低くなりやすい傾向にある。また、窒化物半導体においては正孔の有効質量が大きいため、正孔の拡散長が小さい傾向にあり、正孔の活性層への注入効率の改善が必要である。

10

#### 【0038】

本願発明者の種々の実験の結果により、Inを含む量子井戸構造を活性層に用いたGaN系LEDの場合、p型半導体層20の側の量子井戸層の発光が支配的であることが分かった。また、活性層(発光部30)への正孔の注入効率を上げるためには、AlGaNからなる電子オーバーフロー防止層を活性層に近づけることが正孔の拡散長との兼ね合いから望ましいが、活性層に近づけすぎると、AlGaNの自発分極の影響がInを含む量子井戸層に加わってしまい、逆に量子効率が下がることが分かった。

本発明の実施形態の構成は、このような知見に基づいて構築されている。

#### 【0039】

本実施形態にかかる半導体発光素子110においては、第2層42は、Al組成が高いAlGaN層であり、電子のオーバーフローを抑制する電子オーバーフロー防止層として機能する。

20

#### 【0040】

電子のオーバーフローを抑制する効果を高めるためには、電子オーバーフロー防止層におけるAl組成比が高いことが望ましい。一方、電子オーバーフロー層におけるAl組成比が高過ぎると、自発分極の影響によって、p型半導体層20に近接する井戸層32のエネルギーバンドが曲がってしまい、発光効率が低下する。

#### 【0041】

本実施形態に係る半導体発光素子110においては、発光部30とp型半導体層20との間に、発光部30からp型半導体層20に向かって、Alを実質的に含まない中間層40m、Al組成比が低い第1層41、及び、Al組成比が高い第2層42が、この順で配置される。

30

#### 【0042】

図3は、本発明の実施形態に係る半導体発光素子の特性を例示する模式図である。

すなわち、同図は、半導体発光素子110における発光部30からp型半導体層20にかけての半導体層におけるAl組成比Axの変化を例示している。同図において、横軸は、Z軸方向(積層方向)であり、縦軸は、半導体層におけるAl組成比Axである。

#### 【0043】

図3に表したように、発光部30の端(p型半導体層20の側の端)においては、井戸層32が配置され、井戸層32におけるAl組成比Axは実質的に零である。中間層40mにおいても、Al組成比Axは実質的に零である。第1層41におけるAl組成比Axは、第1Al組成比x1であり、例えば、0.001以上0.05以下である。第2層42におけるAl組成比Axは、第2Al組成比x2であり、例えば、0.1以上0.2以下である。

40

#### 【0044】

このように、半導体発光素子110においては、発光部30とp型半導体層20との間に設けられる中間層40m、第1層41及び第2層42のAl組成比Axを、発光部30からp型半導体層20に向かう方向に沿って、漸増させる。そして、発光部30の井戸層32に接する半導体層である中間層40mは、実質的にAlを含まない。

#### 【0045】

50

この構成により、発光部 30 と p 型半導体層 20 との間において、p 型半導体層 20 に近い側では Al 組成比  $A_x$  が高いため、電子オーバーフロー防止効果が十分に発揮される。そして、発光部 30 に近い側では、実質的に Al を含まないため、Al を含んだ場合の AlGaIn 層における自発分極によって井戸層 32 のエネルギーバンド特性に与える悪影響が抑制される。

【0046】

図 4 は、本発明の実施形態に係る半導体発光素子の特性を例示する模式図である。

すなわち、同図は、半導体発光素子 110 における発光部 30 から p 型半導体層 20 にかけての半導体層におけるエネルギーバンド特性を模式的に例示している。同図において、横軸は、Z 軸方向（積層方向）であり、縦軸は、エネルギー  $E_g$  である。同図においては、伝導帯 CB の状態と、価電子帯 VB の特性が例示されている。

10

図 4 に表したように、半導体発光素子 110 においては、発光部 30 から p 型半導体層 20 にかけて、所望のエネルギーバンド特性が実現できる。

【0047】

すなわち、p 型半導体層 20 に最も近い井戸層 32 のエネルギー特性は、それ以外の井戸層 32 のエネルギー特性と実質的に同様である。すなわち、p 型半導体層 20 に最も近い井戸層 32 のエネルギー特性は、例えば、Al 組成比  $A_x$  が高い第 2 層 42 の影響を実質的に受けていない。

これにより、電子のオーバーフローを低減させ、かつ活性層への正孔の注入効率も上げることが可能となり、発光効率が向上する。

20

【0048】

図 5 は、比較例の半導体発光素子の特性を例示する模式図である。

すなわち、同図は、比較例の半導体発光素子 119 における発光部 30 から p 型半導体層 20 にかけての半導体層における Al 組成比  $A_x$  の変化を例示している。

図 6 は、比較例の半導体発光素子の特性を例示する模式図である。

すなわち、同図は、比較例の半導体発光素子 119 における発光部 30 から p 型半導体層 20 にかけての半導体層におけるエネルギーバンド特性を模式的に例示している。

図 5 に表したように、比較例の半導体発光素子 119 においては、発光部 30 の井戸層 32 に隣接して高い組成比で Al を含む第 2 層 42 が設けられている。

【0049】

この場合、図 6 に表したように、p 型半導体層 20 に最も近い井戸層 32 のエネルギー特性は、それ以外の井戸層 32 のエネルギー特性とは異なる。すなわち、Al 組成比が高い第 2 層 42 における自発分極によって、p 型半導体層 20 に最も近い井戸層 32 のエネルギーバンドが曲がっている。このため、比較例の半導体発光素子 119 においては、効率が低下する。

30

【0050】

これに対し、実施形態に係る半導体発光素子 110 においては、中間層 40m 及び第 1 層 41 を設けることで、Al 組成比  $A_x$  が高い第 2 層 42 の自発分極の影響を井戸層 32 に与えることを抑制できるため、エネルギーバンド特性を所望の状態に制御できる。これにより、電子のオーバーフローを低減させ、かつ活性層への正孔の注入効率も上げることが可能となり、発光効率が高い。

40

【0051】

以下、実施形態に係る実施例の特性を、比較例と共に説明する。

実施形態に係る第 1 ~ 第 3 実施例の半導体発光素子 110a ~ 110c の構成は、図 1 に例示した半導体発光素子 110 と同様なので説明を省略する。

【0052】

(第 1 実施例)

第 1 実施例の半導体発光素子 110a においては、中間層 40m が、実質的に Al を含まない GaN であり、その厚さは 5 nm である。第 1 層 41 は、 $Al_{0.01}Ga_{0.99}N$  (すなわち、第 1 Al 組成比  $x_1 = 0.01$ ) であり、その厚さは 5 nm である。第

50

1層41におけるMg濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度と比較的低濃度である。第2層42は、 $\text{Al}_{0.2} \text{Ga}_{0.8} \text{N}$ （すなわち、第2Al組成比 $x_2 = 0.2$ ）であり、その厚さは5nmである。第2層42におけるMg濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度と高濃度である。

【0053】

（第2実施例）

第2実施例の半導体発光素子110bにおいては、第1層41は、 $\text{Al}_{0.01} \text{Ga}_{0.99} \text{N}$ であり、その厚さは2.5nmである。そして、それ以外の構成は、第1実施例と同様である。

【0054】

（第3実施例）

第3実施例の半導体発光素子110cにおいては、第1層41は、 $\text{Al}_{0.01} \text{Ga}_{0.99} \text{N}$ であり、その厚さは0.5nmである。そして、それ以外の構成は、第1実施例と同様である。

【0055】

（第1比較例）

第1比較例の半導体発光素子119aの構成は、図5に例示した比較例の半導体発光素子119と同様の構成を有する。すなわち、半導体発光素子119aは、中間層40m及び第1層41を有していない。それ以外は、第1実施例の半導体発光素子110aと同様の構成を有する。

すなわち、第1比較例の半導体発光素子119aにおいては、発光部30の井戸層32に接して、第2層42が設けられている。第2層42は、 $\text{Al}_{0.2} \text{Ga}_{0.8} \text{N}$ であり、その厚さは5nmである。第2層42におけるMg濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0056】

（第2比較例）

第2比較例の半導体発光素子119bは、中間層40mと第1層41と第2層42とを有している。すなわち、半導体発光素子119bの構成は、図1に例示した半導体発光素子110と類似している。ただし、中間層40mが薄い。半導体発光素子119bにおいては、中間層40mの厚さが0.5nmである。それ以外の構成（例えば、第1層41と第2層42の構成）は、第1実施例の半導体発光素子110aと同様である。

【0057】

（第3比較例）

第3比較例の半導体発光素子119cは、中間層40mと第1層41と第2層42とを有している。すなわち、半導体発光素子119cの構成は、図1に例示した半導体発光素子110と類似している。ただし、中間層40mが薄い。半導体発光素子119cにおいては、中間層40mの厚さが2.5nmである。それ以外の構成（例えば、第1層41と第2層42の構成）は、第1実施例の半導体発光素子110aと同様である。

【0058】

図7は、半導体発光素子の特性を例示するグラフ図である。

すなわち、同図は、第1～第3実施例の半導体発光素子110a～110c、及び、第1～第3比較例の半導体発光素子119a～119cの特性を例示している。同図において、横軸は、各半導体発光素子に通電される電流Ifであり、縦軸は、発光効率Effである。

これらの半導体発光素子110a～110c及び119a～119cは、ピーク波長が450nmの青色LEDである。

【0059】

図7に表したように、中間層40mを設けない第1比較例の半導体発光素子119aにおいては、発光効率Effは著しく小さい。これは、発光部30の井戸層32に、Al組成比Axが高い第2層42が接しており、第2層42における自発分極により、井戸層3

10

20

30

40

50

2のエネルギー  $E_g$  の特性が劣化したことが原因であると推察される。

【0060】

中間層40mの厚さが0.5nmである第2比較例の半導体発光素子119bにおいても発光効率  $E_{ff}$  は低い。

【0061】

中間層40mの厚さが2.5nmである第3比較例の半導体発光素子119cにおいては、半導体発光素子119bに比べると発光効率  $E_{ff}$  は上昇しているが、不十分である。

【0062】

これに対し、第1～第3実施例の半導体発光素子110a～110cにおいては、いずれも高い発光効率  $E_{ff}$  を示した。なお、第1層41の厚さが0.5nmでも高い発光効率を示すことから、中間層40mの厚さが5nm程度の場合には、第1層41の厚さは、0.5nm程度で良いことが分かる。

【0063】

このように、実施形態に係る半導体発光素子110(半導体発光素子110a～110c)においては、中間層40mが少なくとも5nm程度の厚さを有していれば高い発光効率を得られる。そして、中間層40mの厚さが例えば、2.5nm以下であると(例えば第2及び第3比較例の半導体発光素子119b及び119c)、発光効率  $E_{ff}$  は低い。

【0064】

図8は、半導体発光素子の特性のシミュレーション結果を例示する模式図である。

すなわち、図8(a)、(b)、(c)は、第1実施例の半導体発光素子110a、並びに、第2及び第3比較例の半導体発光素子119b及び119cにおける発光部30からp型半導体層20にかけての半導体層におけるエネルギーバンド特性をシミュレーションした結果を例示している。

【0065】

図8(a)に表したように、中間層40mの厚さが0.5nmである第2比較例の半導体発光素子119bにおいては、p型半導体層20に最も近い井戸層32(井戸層32a)のエネルギー特性が曲線状であり、エネルギーバンドが曲がっている。これは、例えば、A1組成比  $A_x$  が高い第2層42の自発分極の影響であると考えられる。

【0066】

図8(b)に表したように、中間層40mの厚さが2.5nmである第3比較例の半導体発光素子119cにおいても、p型半導体層20に最も近い井戸層32のエネルギー特性がやはり曲線状であり、エネルギーバンドの曲がりには十分には解消されていない。

【0067】

これに対し、図8(c)に表したように、中間層40mの厚さが5nmである第1実施例の半導体発光素子110aにおいては、p型半導体層20に最も近い井戸層32のエネルギー特性が直線状であり、エネルギーバンドの曲がり方が十分に解消されている。これにより、高い発光効率を得られる。

【0068】

このように、実施形態に係る半導体発光素子110においては、中間層40mの厚さは、3nm以上とされる。

【0069】

以下、中間層40mが厚い場合も含めて、半導体発光素子の発光効率  $E_{ff}$  及び電圧  $V_f$  の特性について説明する。

(第4比較例)

第4比較例の半導体発光素子119dは、中間層40mと第1層41と第2層42とを有している。すなわち、半導体発光素子119dの構成は、図1に例示した半導体発光素子110と類似している。ただし、中間層40mが厚い。半導体発光素子119dにおいては、中間層40mの厚さが10.0nmである。それ以外の構成(例えば、第1層41と第2層42の構成)は、第1実施例の半導体発光素子110aと同様である。

10

20

30

40

50

## 【0070】

図9は、半導体発光素子の特性を例示するグラフ図である。

すなわち、図9(a)及び図9(b)は、第1実施例の半導体発光素子110a、並びに、第2、第3、及び第4比較例の半導体発光素子119b、119c及び119dの、発光効率 $E_{ff}$ 及び電圧 $V_f$ を例示している。これらの図において、横軸は、各半導体発光素子に通電される電流 $I_f$ である。図9(a)の縦軸は、発光効率 $E_{ff}$ である。図9(b)の縦軸は、電圧 $V_f$ である。図9(c)は、これらの半導体発光素子における中間層40mの厚さ $t_m$ と、発光効率 $E_{ff}$ と、の関係を例示している。図9(c)の横軸は、中間層40mの厚さ $t_m$ であり、縦軸は、電流 $I_f$ が20mAの時の発光効率 $E_{ff}$ である。

10

## 【0071】

図9(a)に表したように、半導体発光素子119b及び119cのように、中間層40mの厚さ $t_m$ が0.5nm及び2.5nmのように薄い場合も、半導体発光素子119dのように中間層40mの厚さ40mが過度に厚い場合も、発光効率 $E_{ff}$ は低い。

## 【0072】

図9(c)に表したように、中間層40mの厚さが、約3nm以上、8nm以下の場合に発光効率 $E_{ff}$ は高い値を示す。

## 【0073】

このように、中間層40mの厚さ $t_m$ が過度に厚いと発光効率 $E_{ff}$ が低下するのは、窒化物半導体においてや正孔の移動度が小さいため、中間層40mが厚いと正孔の活性層(発光部30)への注入効率が低下することが原因であると考えられる。

20

## 【0074】

さらに、図9(b)に表したように、中間層40が厚い半導体発光素子119dにおいては、電圧 $V_f$ が高い。この観点でも、中間層40mの厚さ $t_m$ は適正に設定される。

## 【0075】

このように、実施形態に係る半導体発光素子110においては、中間層40mの厚さは、3nm以上8nm以下とされる。

## 【0076】

図10は、本発明の実施形態に係る半導体発光素子の特性を例示する模式図である。

すなわち、図10(a)~図10(c)は、実施形態に係る別の半導体発光素子111~113の特性をそれぞれ例示している。これらの図は、発光部30からp型半導体層20にかけての半導体層におけるAl組成比 $A_x$ の変化を例示している。これらの図において、横軸は、Z軸方向(積層方向)であり、縦軸は、半導体層におけるAl組成比 $A_x$ である。

30

## 【0077】

図10(a)に表したように、実施形態に係る別の半導体発光素子111は、中間層40m、第1層41及び第2層42に加えて、第1層41と第2層42との間に設けられ、第1Al組成比 $x_1$ と第2Al組成比 $x_2$ との間の第3Al組成比 $x_3$ を有するAlGaInからなる第3層43をさらに備えている。

## 【0078】

図10(b)に表したように、実施形態に係る別の半導体発光素子112は、中間層40m、第1層41、第2層42及び第3層43に加えて、第3層43と第2層42との間に設けられ、第3Al組成比 $x_3$ と第2Al組成比 $x_2$ との間の第4Al組成比 $x_4$ を有するAlGaInからなる第4層44をさらに備えている。

40

## 【0079】

このように、Alを実質的に含まない中間層40mと、高組成比でAlを含む第2層42との間に、複数の層を設けることができ、その複数の層におけるAl組成比は、中間層40mから第2層42に向かうに従って上昇する。

なお、中間層40mと第2層42との間に設けられる複数の層の数は任意である。

## 【0080】

50

さらに、1つの層の内部でAl組成比 $A_x$ が変化しても良い。

図10(c)に表したように、実施形態に係る別の半導体発光素子113は、中間層40m、第1層41及び第2層42に加えて、第1層41と第2層42との間に設けられ、第1Al組成比 $x_1$ と第2Al組成比 $x_2$ との間の第3Al組成比 $x_3$ を有するAlGaInからなる第3層43をさらに備えており、第3層43におけるAl組成比 $A_x$ は、発光部30からp型半導体層20に向かう方向に沿って上昇している。

【0081】

このような構成を有する半導体発光素子111~113においても、発光効率が向上できる。

【0082】

このように、実施形態に係る半導体発光素子においては、第1層41から第2層42に向かって、Al組成比 $A_x$ が、段階的にまたは連続的に上昇(漸増)する構成が適用され、Al組成比 $A_x$ の変化の特性は任意である。

【0083】

なお、図2に例示した半導体発光素子110の発光部30の構成において、発光部30は、p型半導体層20に最も近い井戸層32のp型半導体層20の側に設けられた障壁層31をさらに有することができる。このとき、実施形態に係る半導体発光素子110においては、その障壁層31は、実質的にAlを含まない。すなわち、その障壁層31には、 $In_{z_2}Ga_{1-z_2}N$  ( $0 < z_2 < 1$ ) が用いられる。そして、この場合には、その障壁層31と中間層40mとを合わせた合計の厚さが、3nm以上8nm以下とされる。

【0084】

また、半導体発光素子110における中間層40mは、発光部30において、p型半導体層20に最も近い井戸層32のp型半導体層20の側に設けられた障壁層31と見なすこともできるが、p型半導体層20に最も近い井戸層32のp型半導体層20の側に設けられたその障壁層31を中間層40mと見なす。

【0085】

なお、本明細書において「窒化物半導体」とは、 $B_xIn_yAl_zGa_{1-x-y-z}N$  ( $0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z < 1, x + y + z < 1$ ) なる化学式において組成比 $x$ 、 $y$ 及び $z$ をそれぞれの範囲内で変化させた全ての組成の半導体を含むものとする。またさらに、上記化学式において、N(窒素)以外のV族元素もさらに含むものや、導電型などを制御するために添加される各種のドーパントのいずれかをさらに含むものも、「窒化物半導体」に含まれるものとする。

【0086】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、半導体発光素子に含まれるn型半導体層、p型半導体層、発光部、井戸層、障壁層、中間層、第1~第4層、電極、基板、バッファ層等の各要素の具体的な構成の、形状、サイズ、材質、配置関係などに関して当業者が各種の変更を加えたものであっても、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に含まれる。

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

【0087】

その他、本発明の実施の形態として上述した半導体発光素子を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての半導体発光素子も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

【0088】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと解される。

10

20

30

40

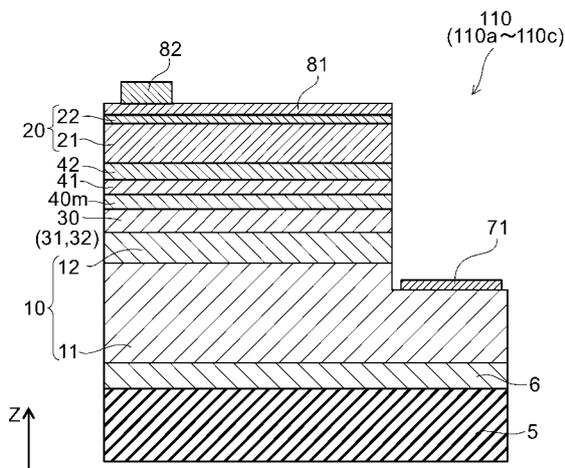
50

【符号の説明】

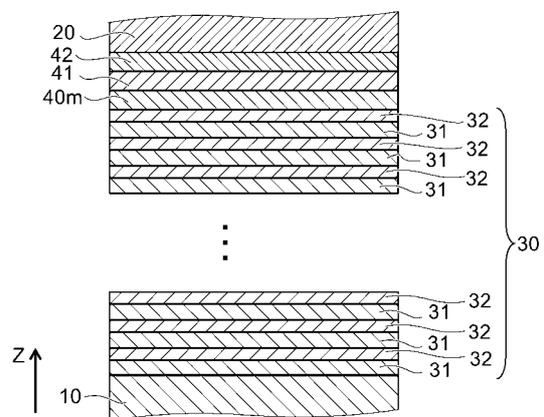
【0089】

5 ... 基板、 6 ... バッファ層、 10 ... n型半導体層、 11 ... n型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N層、 12 ... n型ガイド層、 20 ... p型半導体層、 21 ... p型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N層、 22 ... p型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>Nコンタクト層、 30 ... 発光部、 31 ... 障壁層、 32 ... 井戸層、 40m ... 中間層、 41 ~ 44 ... 第1 ~ 第4層、 71 ... n側電極、 81 ... p側電極、 82 ... p側パッド電極、 110、 110a、 110b、 110c、 111 ~ 113、 119、 119a、 119b、 119c ... 半導体発光素子、 Ax ... Al組成比、 CB ... 伝導帯、 Eg ... エネルギー、 Eff ... 発光効率、 If ... 電流、 VB ... 価電子帯、 Vf ... 電圧、 tm ... 厚さ、 x1 ~ x4 ... 第1 ~ 第4組成比

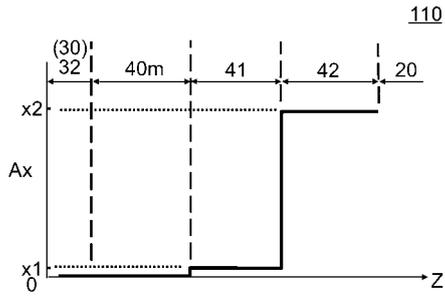
【図1】



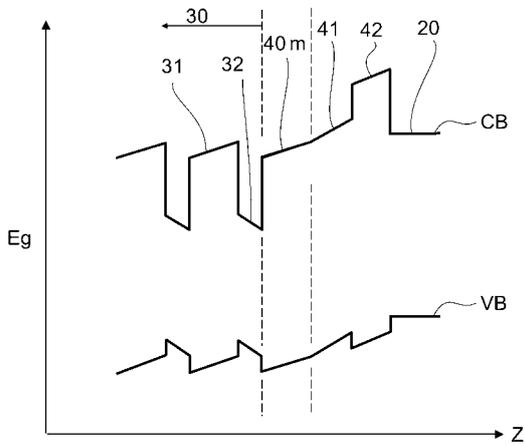
【図2】



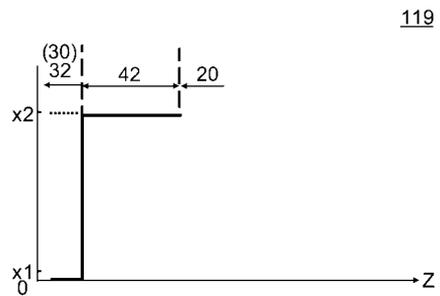
【 図 3 】



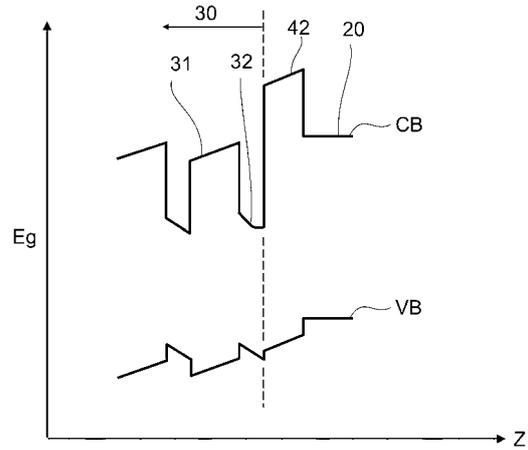
【 図 4 】



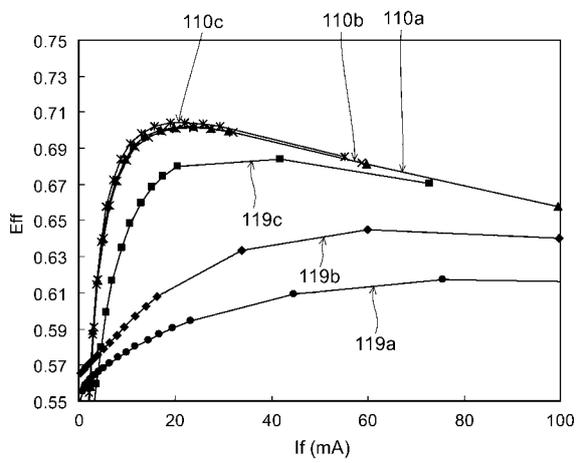
【 図 5 】



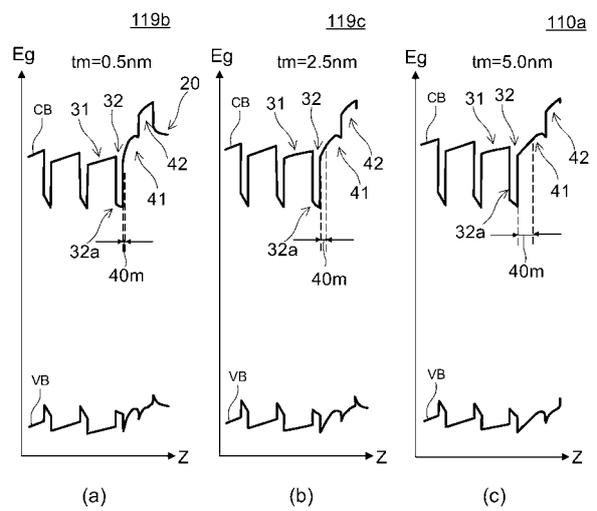
【 図 6 】



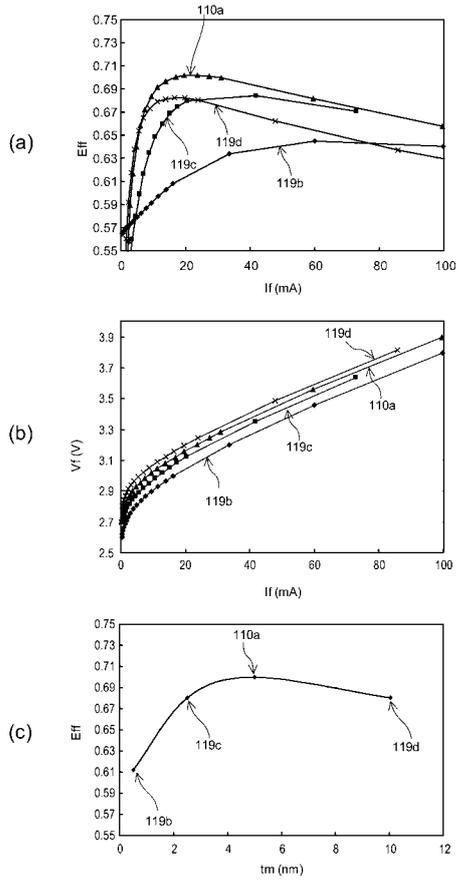
【 図 7 】



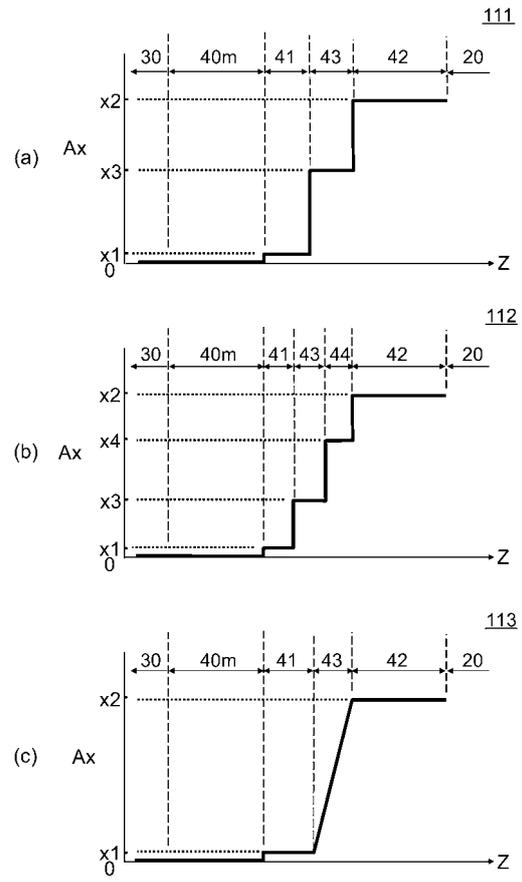
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 木村 重哉  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 布上 真也  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 佐藤 秀樹

- (56)参考文献 特開2006-245165(JP,A)  
特開2003-204122(JP,A)  
国際公開第2005/034301(WO,A1)  
特開2003-283057(JP,A)  
特開2007-207827(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |               |
|------|---------------|
| H01L | 33/00 - 33/64 |
| H01S | 5/00 - 5/50   |