

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6766243号
(P6766243)

(45) 発行日 令和2年10月7日 (2020. 10. 7)

(24) 登録日 令和2年9月18日 (2020. 9. 18)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 33/14 (2010. 01)	HO 1 L 33/14
HO 1 L 33/32 (2010. 01)	HO 1 L 33/32
HO 1 L 33/06 (2010. 01)	HO 1 L 33/06
HO 1 L 21/205 (2006. 01)	HO 1 L 21/205

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2019-198185 (P2019-198185)	(73) 特許権者	506334182
(22) 出願日	令和1年10月31日 (2019. 10. 31)		DOWAエレクトロニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2020-77874 (P2020-77874A)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(43) 公開日	令和2年5月21日 (2020. 5. 21)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	令和1年10月31日 (2019. 10. 31)		弁理士 杉村 憲司
(31) 優先権主張番号	特願2018-208392 (P2018-208392)	(74) 代理人	100179903
(32) 優先日	平成30年11月5日 (2018. 11. 5)		弁理士 福井 敏夫
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)	(72) 発明者	渡邊 康弘
			東京都千代田区外神田4-14-1 DOWAエレクトロニクス株式会社内
		審査官	大西 孝宣

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発光波長が200～350nmのIII族窒化物半導体発光素子において、
n型III族窒化物半導体層と、障壁層および前記障壁層のバンドギャップの小さい井戸層をこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してなるIII族窒化物半導体発光層と、AlNガイド層と、電子ブロック層と、p型III族窒化物半導体層とをこの順に有し、

前記AlNガイド層の厚さが0.5nm以上2.0nm以下であり、

前記電子ブロック層がp型の $Al_zGa_{1-z}N$ ($0.50 \leq z \leq 0.80$) であり、

前記障壁層がn型の $Al_bGa_{1-b}N$ ($z+0.01 \leq b \leq 0.95$) 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2】

前記障壁層のAl組成比（b）が、 $b \leq z+0.20$ である、請求項1に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項3】

前記III族窒化物半導体発光層における前記N層目の井戸層と、前記AlNガイド層とが接する、または、

前記III族窒化物半導体発光層における前記N層目の井戸層と、前記AlNガイド層との間に、Al組成比が前記障壁層以上前記AlNガイド層未満のファイナルバリア層を有し、該ファイナルバリア層の厚みが1.5nm以下である、請求項1または2に記載のII

I族窒化物半導体発光素子。

【請求項4】

発光波長が200～350nmのIII族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、
n型III族窒化物半導体層を形成する第1工程と、

前記n型III族窒化物半導体層上に障壁層および該障壁層のバンドギャップの小さい井戸層をこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してIII族窒化物半導体発光層を形成する第2工程と、

前記III族窒化物半導体発光層上に厚さ0.5nm以上2.0nm以下のAlNガイド層を形成する第3工程と、

前記AlNガイド層上に電子ブロック層を形成する第4工程と、

前記電子ブロック層上にp型半導体層を形成する第5工程と、を含み、

前記電子ブロック層をp型の $Al_zGa_{1-z}N$ ($0.50 \leq z \leq 0.80$) とし、

前記障壁層をn型の $Al_bGa_{1-b}N$ ($z+0.01 \leq b \leq 0.95$) とすること
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】

本発明は、III族窒化物半導体発光素子およびその製造方法に関し、特に、優れた発光出力を共に有するIII族窒化物半導体発光素子およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、Al、Ga、In等のIII族元素とNとの化合物からなるIII族窒化物半導体は、青色光から深紫外光の発光素子の材料として用いられている。中でも、高Al組成比のAlGaInからなるIII族窒化物半導体は、発光波長200～350nmの深紫外光発光素子(DUV-LED)に用いられている。

【0003】

一般に、III族窒化物半導体を用いた深紫外光発光素子の発光効率は極めて低く、高出力化の実現は困難と言われてきたが、小型かつ高出力な深紫外発光素子を実現するために、内部量子効率の向上のほか高い光取出効率や低抵抗特性などを実現するための試みが種々行われてきた。

【0004】

こうした深紫外発光層として、n型半導体層3、障壁層4bおよび井戸層4wを交互に積層してなる発光層4、電子ブロック層6およびp型半導体層7をこの順に有するIII族窒化物半導体発光素子1が知られている。このIII族窒化物半導体発光素子1のバンド構造の一部を図1Aに示す。図1Aに示されているように、電子ブロック層6のAl組成比を障壁層4bのAl組成比よりも高くすることが従来では一般的であった。

【0005】

例えば、特許文献1には、発光波長が200～350nmである窒化物半導体発光素子において、発光層の障壁層のAl組成比(a)に対し、p型クラッド層のAl組成比(b)を $0.1 < b - a \leq 0.45$ とし、電子ブロック層のAl組成比(c)を $0.11 \leq c - a \leq 0.98$ とすることが開示されている。特許文献1によれば、こうしたAl組成比の関係とすることで、窒化物半導体発光素子の発光出力を増大できる。

【0006】

また、本願出願人は特許文献2において、上記したIII族窒化物半導体発光素子1の発光層4と電子ブロック層6との間に所定厚さのAlNガイド層5を設けることで、素子の信頼性および発光出力が高められるIII族窒化物半導体発光素子1'を提案している(図1Bのバンド構造を参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2014-241397号公報

【特許文献2】特開2017-34036号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

深紫外光発光素子（DUV-LED）の発光出力の向上は近年ますます希求されており、更なる改善が望まれる。

【0009】

そこで本発明は、優れた発光出力を有するIII族窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、上掲の特許文献2のように、発光層4と電子ブロック層6の間にAlNガイド層5を設けた場合における発光出力の増大手法について鋭意検討した。そして、このAlNガイド層5を設ける場合には、障壁層と電子ブロック層との間のAl組成比の一般的な関係（[障壁層のAl組成比] < [電子ブロック層のAl組成比]）に反して、障壁層のAl組成比を電子ブロックのそれよりもあえて大きくした場合に、優れた発光出力が得られることを知見し、本発明を完成するに至った。

【0011】

すなわち、本発明の要旨構成は以下の通りである。

20

（1）発光波長が200～350nmのIII族窒化物半導体発光素子において、

n型III族窒化物半導体層と、障壁層および前記障壁層のバンドギャップの小さい井戸層をこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してなるIII族窒化物半導体発光層と、AlNガイド層と、電子ブロック層と、p型III族窒化物半導体層とをこの順に有し、

前記電子ブロック層がp型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ （ $0.50 \leq z \leq 0.80$ ）であり、

前記障壁層がn型の $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ （ $z+0.01 \leq b \leq 0.95$ ）であること
を特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

【0012】

（2）前記障壁層のAl組成比（b）が、 $b \leq z+0.20$ である、前記（1）に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

30

【0013】

（3）前記AlNガイド層の厚さが0.5nm以上2.0nm以下である、前記（1）または（2）に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【0014】

（4）前記III族窒化物半導体発光層における前記N層目の井戸層と、前記AlNガイド層とが接する、または、

前記III族窒化物半導体発光層における前記N層目の井戸層と、前記AlNガイド層との間に、Al組成比が前記障壁層以上前記AlNガイド層未満のファイナルバリア層を有し、該ファイナルバリア層の厚みが1.5nm以下である、前記（1）～（3）のいずれかに記載のIII族窒化物半導体発光素子。

40

【0015】

（5）発光波長が200～350nmのIII族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、

n型III族窒化物半導体層を形成する第1工程と、

前記n型III族窒化物半導体層上に障壁層および該障壁層のバンドギャップの小さい井戸層をこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してIII族窒化物半導体発光層を形成する第2工程と、

前記III族窒化物半導体発光層上にAlNガイド層を形成する第3工程と、

前記AlNガイド層上に電子ブロック層を形成する第4工程と、

50

前記電子ブロック層上にp型半導体層を形成する第5工程と、を含み、
前記電子ブロック層をp型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0.50 \leq z \leq 0.80$) とし、
前記障壁層をn型の $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($z+0.01 \leq b \leq 0.95$) とすること
を特徴とするIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、従来よりも優れた発光出力を有するIII族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】

【0017】

【図1A】従来知られるIII族窒化物半導体発光素子のバンド構造の一部の一例を示す図である。

【図1B】従来知られるIII族窒化物半導体発光素子のバンド構造の一部の別の例を示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子を説明する模式断面図である。

【図3A】本発明に従うIII族窒化物半導体発光素子の一態様のバンド構造の一部を示す図である。

【図3B】本発明に従うIII族窒化物半導体発光素子の別の態様のバンド構造の一部を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明に従う実施形態の説明に先立ち、以下の点について予め説明する。まず、本明細書においてAl組成比を明示せずに単に「AlGa_xN」と表記する場合は、III族元素（Al，Gaの合計）とNとの化学組成比が1：1であり、III族元素AlとGaとの比率は不定の任意の化合物を意味するものとする。この場合、III族元素であるInについての表記がなくとも、III族元素としてのAlとGaに対して5%以内の量のInを含んでもよいこととする。また、単に「AlN」または「GaN」と表記する場合は、それぞれGaおよびAlは組成比に含まれないことを意味するが、単に「AlGa_xN」と表記することによって、AlNまたはGaNのいずれかであることを排除するものではない。なお、Al組成比の値は、フォトルミネッセンス測定およびX線回折測定などによって測定することができる。

【0019】

また、本明細書において、電気的にp型として機能するIII族窒化物半導体層をp型層と略称し、電気的にn型として機能するIII族窒化物半導体層をn型層と略称する場合がある。一方、MgやSi等の特定の不純物を意図的には添加しておらず、電気的にp型またはn型として機能しない場合、「i型」または「アンドープ」と言う。アンドープの層には、製造過程における不可避免的な不純物の混入はあってよく、具体的には、キャリア密度が小さい（例えば $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満）場合、本明細書において「アンドープ」と称する。また、MgやSi等の不純物濃度の値は、SIMS分析によるものとする。

【0020】

また、エピタキシャル成長により形成される各層の厚さ全体は、光干渉式膜厚測定器を用いて測定することができる。さらに、各層の厚さのそれぞれは、隣接する各層の組成比が十分異なる場合（例えばAl組成比が、0.01以上異なる場合）、透過型電子顕微鏡による成長層の断面観察から算出できる。また、隣接する層のうち、Al組成比が同一であるか、または、ほぼ等しい（例えば0.01未満）ものの、不純物濃度の異なる層の境界および厚さについては、両者の境界ならびに各層の厚さは、TEM-EDSに基づく測定によるものとする。そして、両者の不純物濃度は、SIMS分析により測定できる。また、超格子構造のように各層の厚さが薄い場合にはTEM-EDSを用いて厚さを測定することができる。

【0021】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、同一の構成要素には原則として同一の参照番号を付して、説明を省略する。また、各図において、説明の便宜上、基板および各層の縦横の比率を実際の比率から誇張して示している。

【0022】

(III族窒化物半導体発光素子)

図2に示すように、本発明の一実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子100は、n型III族窒化物半導体層30と、障壁層40bおよび、障壁層40bよりもバンドギャップの小さい井戸層40wをこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してなるIII族窒化物半導体発光層40と、AlNガイド層50と、電子ブロック層60と、p型III族窒化物半導体層70と、をこの順に有する。本明細書において、障壁層40bのAl組成比をb、井戸層40wのAl組成比をw、電子ブロック層60のAl組成比をzと表記する。本発明によるIII族窒化物半導体発光素子100では、電子ブロック層60のAl組成比（z）よりも、障壁層40bのAl組成比（b）が大きい。以下、本明細書においてn型III族窒化物半導体層30を「n型層30」、III族窒化物半導体発光層40を「発光層40」、p型III族窒化物半導体層70を「p型層70」と、それぞれ略記する。

10

【0023】

図2に示すように、III族窒化物半導体発光素子100のn型層30を、基板10の表面にAlN層20が設けられたAlNテンプレート基板上に設けることができる。また、III族窒化物半導体発光素子100には、発光層40、AlNガイド層50、電子ブロック層60、およびp型層70の一部をエッチング等により除去し、露出したn型層30上に形成したn型電極80と、p型層70上に形成したp型電極90とが設けられてもよい。上記の基板10、AlN層20、n型電極80およびp型電極90は従来公知の一般的なIII族窒化物半導体発光素子による一般的な構成とすることができ、具体的な構成は何ら限定されるものではない。また、図示しないが、AlN層20とn型層30の間には、AlGaN層、組成傾斜層および超格子層の1つ以上から選ばれるバッファ層が設けられてもよい。

20

【0024】

<n型層>

30

n型層30は、少なくともAlを含むIII族窒化物半導体層であり、III族窒化物半導体発光素子100におけるn型の半導体層として機能すれば一般的なn型半導体層を用いることができる。n型層30は、例えばAlGaN材料からなり、また、III族元素としてのAlとGaに対して5%以内の量のInを含んでいてもよい。n型層30には、n型のドーパント（不純物）がドーパされ、n型ドーパントとしては、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等を例示することができる。ドーパント濃度は、n型として機能することのできるドーパント濃度であれば特に限定されず、例えば $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3 \sim 1.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ とすることができる。また、n型層30のAl含有率は、特に制限はなく、一般的な範囲とすることができる。n型層30を単層または複数層からなる構造とする他、III族元素の組成比を結晶成長方向に組成傾斜させた組成傾斜層や超格子構造を含む構成することもできる。n型層30は、n側電極とのコンタクト部を形成するだけでなく、基板から発光層に至るまでに結晶性を高める機能を兼ねることができる。

40

【0025】

<n型ガイド層>

なお、図2には図示しないが、発光層40とn型層30との間に、n型ガイド層35を設けても良い。n型ガイド層35はAlGaN材料を用いることが好ましく、そのAl組成比は、前記のn型層30のAl組成比以上、障壁層40bのAl組成比（b）以下とすることが好ましい。その厚さは3nm～30nmとすることができる。また、n型ガイド層35には、n型層と同様にn型のドーパント（不純物）がドーパされることが好ましいが

50

、そのドーパント量はn型層よりも低いことが好ましい。

【0026】

<発光層>

III族窒化物半導体発光素子100において、発光層40がn型層30に続いて設けられる。発光層40は、障壁層40bおよび、障壁層40bよりもバンドギャップの小さい井戸層40wをこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してなる。例えば、障壁層40bおよび井戸層40wとして、Al組成比の異なるAlGaIn材料を用いることができる。障壁層40bおよび井戸層40wは、必要に応じて、In等のIII族元素を5%以内の組成比で導入し、AlGaInN材料等としてもよいが、III族元素としてはAlおよびGaのみを用いた三元系のAlGaInN材料とすることがより好ましい。井戸層40wはn型およびi型のいずれとしてもよいが、障壁層40bはn型とする。電子濃度が増え、井戸層内の結晶欠陥を補償する効果があるためである。なお、発光層40は、障壁層40bおよび井戸層40wを繰り返し形成し、障壁層40bで挟み込んだ一般的な多重量子井戸（MQW：Multiple Quantum Well）構造から、p型の半導体層側の最後の障壁層を取り除いたものに相当すると言える。

10

【0027】

<<障壁層および井戸層>>

障壁層40bとして $Al_bGa_{1-b}N$ 材料を用い、井戸層40wとして $Al_wGa_{1-w}N$ 材料を用いることができる。障壁層40bのAl組成比（b）を例えば0.51～0.95、より好ましくは0.53～0.85とすることができ、井戸層40wのAl組成比（w）を、例えば0.30～0.80（但し、 $w < b$ ）とすることができ、また、障壁層40bおよび井戸層40wのそれぞれの層数Nを、例えば1～10の正の整数とすることができ、さらに、障壁層40bの厚みを3nm～30nmとすることができ、井戸層40wの厚みを0.5nm～5nmとすることができ、

20

そして、本発明者は、障壁層40bのAl組成比（b）を後述する電子ブロック層のAl組成比（z）よりも大きくし、 $z + 0.01 \leq b \leq 0.95$ とすることにより、発光出力のさらなる向上が得られることを見出した。さらに、発光出力向上効果は確実なものとするためには、障壁層40bのAl組成比（b）の上限を $z + 0.2$ （ $b \leq z + 0.2$ ）とすることが好ましく、 $z + 0.17$ （ $b \leq z + 0.17$ ）とすることがより好ましく、 $z + 0.15$ （ $b \leq z + 0.15$ ）とすることが特に好ましい。障壁層40bのAl組成比（b）を $z + 0.05 \leq b \leq z + 0.15$ とすることが特に好ましい。

30

【0028】

なお、井戸層40wのAl組成比（w）によって発光する光の中心波長を概ね調整することができる。光の中心波長としては200～350nmとすることができ、200～300nmとすることが好ましく、270～295nmとすることがより好ましい。例えば、発光層40における井戸層40wのAl組成比（w）を0.35以上とすると、発光層40から放射される光の中心波長が300nm以下となる。

【0029】

ここで、図3A、図3Bに本発明による一実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子100の伝導帯のバンド構造の態様を示す。前述の従来公知の図1Bと対比して、本発明による特徴的なバンド構造を説明する。図1Bの従来例に示すように、電子ブロック層60は障壁層40bのAl組成比（b）に対し、例えば $Al_zGa_{1-z}N$ 材料（ $b < z < 1$ ）のように、障壁層のAl組成比よりも高いAl組成比とすることで、障壁層よりも電子ブロック層のバンドギャップを大きくすることが一般的であった。

40

図1Bのバンド構造と比べて、本発明の実施形態に従う図3Aでは、障壁層40bのAl組成比（b）の方が電子ブロック層60よりもバンドギャップを大きくする構成となっている。すなわち、障壁層40bのAl組成比（b）を電子ブロック層60（詳細は後述する）のAl組成比（z）よりも大きくし、 $z + 0.01 \leq b \leq 0.95$ の関係を満足するようにしている。図3Aは、n型ガイド層35を障壁層40bと同じバンドギャップとした場合であり、図3Bはn型ガイド層35を障壁層40bとは異なり、n型層30と同じバンド

50

ギャップとした場合である。いずれも、障壁層40bのAl組成比(b)を電子ブロック層60のAl組成比(z)よりも大きくしている。

このような本発明による障壁層と電子ブロック層とでのバンドギャップの大小関係により、従来よりも優れた発光出力を有するIII族窒化物半導体発光素子を実現することができることを本発明者は実験的に確認した。本発明は理論に束縛されるものではないが、こうした効果が得られる理由について、本発明者は以下のとおり考えている。まず、DUV-LEDの材料として使われるAlGaN系の半導体材料は比較的大きなバンドギャップを有するため、低抵抗化が難しい。特にp型のAlGaN層ではホール濃度の向上が難しい。このため、電極部分ではコンタクト抵抗が増大し、素子のデバイス駆動には大きな順方向電圧Vfが必要となる。一方で、デバイス駆動のために大きな順方向電圧Vfが印加されるほど、キャリア濃度が高く拡散長も長い電子が、p型電子ブロック層にて比較的容易にオーバーフローすると考えられる。このとき、電子の注入効率が悪化する分、DUV-LEDの発光出力が低下する。しかし、障壁層のAl組成を高くすれば電子のオーバーフローを抑制する効果が得られるため、発光出力が向上すると考えられる。大きな順方向電圧Vfが必要となる200~350nmの中でも、光の中心波長が300nm以下であれば、障壁層のAl組成を高くすることによる本発明の効果は特に大きい。一方で、中心波長が300nmを超える波長域では、中心波長が300nm以下の波長域に比べ、電子ブロック層のAl組成を低くして設けることができ、電子ブロック層でのホール注入効率向上の効果が得られやすい。この場合であっても、障壁層40wのAl組成を上げることによるオーバーフローの抑制効果は有効であり、300nm以下の波長域に比べれば小さいものの本発明の効果はある。障壁層のAl組成を高くすると、p型電子ブロック層に近い井戸層への電子濃度が下げられるためだとも考えられる。なお、p型電子ブロック層のAl組成を上げることでもオーバーフローを減らせる可能性は考えられるものの、この場合は結果的にホールの注入を減らす結果となり、光の中心波長が300nm以下ではかえって逆効果となると推察される。

【0030】

<AlNガイド層>

発光層40に続き、AlNガイド層50が発光層40上に設けられる。AlNガイド層50は、最も好ましくはIII族元素のAl組成比を100%として形成したAlNからなる窒化物半導体層である。ただし、他のIII族元素(Ga等)が製造工程中に不可避に混入した場合や、変質時に発生するガスや変質の進行状況を考慮して、結果としてAl組成比が96%~100%であれば、AlNガイド層50に含まれるものとする。AlNガイド層50の厚みは0.5nm以上2.0nm以下が好ましく、0.7nm以上1.7nm以下がより好ましい。AlNガイド層50は、アンドープ(i型)であることが好ましいが、Mgなどのp型ドーパントやSiなどのn型ドーパントを添加しても構わない。また、AlNガイド層50中の不純物濃度が均一である必要はなく、例えば、発光層40側とp型層70側との間で、不純物濃度が異なっても良い。ドーパントを添加した際にはi型だけでなく、結果として一部もしくは全体がp型化、またはn型化してもよい。

【0031】

なお、「i型」であるとは、前述のとおり、特定の不純物を意図的には添加していない層(アンドープ層ともいう)を指す。また、p型層70よりp型ドーパントの拡散があったとしても、特定の不純物を意図的に添加したことにはならない。

【0032】

<ファイナルバリア層>

ここで、III族窒化物半導体発光素子100は、発光層40におけるAlNガイド層50側のN層目の井戸層40wと、AlNガイド層50との間に、バンドギャップが障壁層40b以上かつAlNガイド層50未満のファイナルバリア層を更に有してもよい。ファイナルバリア層として $Al_fGa_{1-f}N$ 材料を用いる場合、ファイナルバリア層のAl組成比(f)は、障壁層のAl組成比(b)に対し $b \leq f \leq 0.95$ であることが好ましい。この場合、ファイナルバリア層の厚みを1.5nm以下とし、0.1nm以上1.0nm以下

と、従来技術で用いられるファイナルバリア層の厚みよりも非常に薄いことがより好ましい。前掲の特許文献2に記載されるキャリアガスの変更時における変質によってファイナルバリア層の一部がAlNガイド層となる場合、ファイナルバリア層の厚みが0.1nm以上であれば、変質の影響を受けない1原子層が残ることで、N層目（電子ブロック層60側）の井戸層40wの変質を避けることができる。

【0033】

<電子ブロック層>

続いて、電子ブロック層60がAlNガイド層50上に隣接して設けられる。電子ブロック層60は一般的に、発光層として機能する量子井戸構造（MQW）とp型層（p型クラッド層またはp型コンタクト層）との間に設けることにより、電子を堰止めして、電子を発光層（MQWの場合には井戸層）内に注入して、電子の注入効率を高めるための層として用いられる。これは、発光層のAl組成比が高い場合には、p型層70のホール濃度が低いため、ホールを発光層に注入しにくく、一部の電子がp型層70側に流れてしまうところ、電子ブロック層60を設けることにより、こうした電子の流れを防止することができるからである。本実施形態でも、AlNガイド層50に隣接して設けられた電子ブロック層60は、上記したと同様にp型層70側への電子の流れを防止することができ、電子の注入効率を高めることができる。

【0034】

ところで前述のように、従来、このような電子ブロック層60は、障壁層40bのAl組成比（b）に対し、例えば $Al_zGa_{1-z}N$ 材料（ $b < z < 1$ ）のように、障壁層のAl組成比（b）よりも高いAl組成比（z）とすることが一般的であった。しかしながら、本発明では、こうした技術常識に反して、電子ブロック層のAl組成比（z）を障壁層のAl組成比（b）よりも低くするものである。そして、電子ブロック層60を $Al_zGa_{1-z}N$ （ $0.5 \leq z \leq 0.8$ ）としつつ、障壁層40bのAl組成比（b）よりも低いAl組成比（z）であって、 $z + 0.01 \leq b$ （すなわち、 $z \leq b - 0.01$ ）とすることにより、発光出力のさらなる向上が得られることを本発明者は見出した。電子ブロック層60全体の厚みは、例えば6nm～60nmであることが好ましい。なお、電子ブロック層にドーピングするp型ドーパントについては、後述のp型層70におけるp型ドーパントと同様であるが、必要に応じてp型以外のドーパントをドーピングしてもよく、部分的にアンドープの領域を設けてもよい。

【0035】

<p型層>

電子ブロック層60に続き設けられるp型層70は、正孔を発光層40に注入できる限りは、特に限定されず、一般的な構成とすることができ、Al組成比の異なるAlGaIn材料を用いて、p型コンタクト層のみ、または、p型クラッド層およびその上のp型コンタクト層を含む複数層構造としてもよい（詳細を後述する）。また、p型層70にドーピングするp型ドーパントとしては、Mg、Zn、Ca、Be、Mn等を例示することができる。また、p型層70全体の平均ドーパント濃度は、p型として機能することのできるドーパント濃度であれば特に限定されず、例えば $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3 \sim 5.0 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ とすることができる。

【0036】

p型の「クラッド層」のAl組成比は、電子ブロック層のAl組成比よりも0.1を超えて小さく、p型コンタクト層よりも0.1を超えて大きいものを指すものとする。p型クラッド層のAl組成比をyとし、電子ブロック層60のAl組成比をz、p型コンタクト層のAl組成比をxとすると、 $x + 0.1 < y < z - 0.1$ である。

【0037】

なお、本実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子100において、p型クラッド層は任意であり、設けなくてもよく、p型層70を、p型コンタクト層のみから構成することが好ましい。なお、p型クラッド層を設けるのであれば、その厚みは、2nm～300nmとすることができる。また、p型コンタクト層の厚みを5nm以上200nm以下と

することができる。なお、図示しないが、p型コンタクト層は、Al組成比、ドーパント種、ドーパント濃度、形成時のキャリアガス種などのいずれか1つまたは複数要素を変えた、複数層構造（超格子構造を含む）とすることも好ましい。

【0038】

— 具体的態様 —

以下に、図2に示した基板10、AlN層20、n型電極80およびp型電極90についてそれらの具体的な態様を例示的に説明するが、これらは種々の変形が可能である。既述のとおり、本発明に従う実施形態において、図2に示した基板10、AlN層20、n型電極80およびp型電極90は、本発明を何ら限定するものではない。

【0039】

III族窒化物半導体発光素子100の基板10として、サファイア基板を用いることができる。サファイア基板の表面にエピタキシャル成長させたAlN層20が設けられたAlNテンプレート基板を用いてもよい。サファイア基板としては、任意のサファイア基板を用いることができ、オフ角の有無は任意であり、オフ角が設けられている場合の傾斜方向の結晶軸方位は、m軸方向またはa軸方向のいずれでもよい。例えば、サファイア基板の主面を、C面が0.5度のオフ角θで傾斜した面とすることができる。AlNテンプレート基板を用いる場合、サファイア基板表面のAlN層の結晶性が優れていることが好ましい。また、AlNテンプレート基板の表面に、アンドープのAlGaIn層が設けられていることも好ましい。また、基板10としてAlN単結晶基板を用いてもよい。

【0040】

n型電極80は、例えばTi含有膜およびこのTi含有膜上に形成されたAl含有膜を有する金属複合膜とすることができ、その厚み、形状およびサイズは、発光素子の形状およびサイズに応じて適宜選択することができる。

【0041】

また、p型電極90についても、例えばNi含有膜およびこのNi含有膜上に形成されたAu含有膜を有する金属複合膜とすることができ、その厚み、形状およびサイズは、発光素子の形状およびサイズに応じて適宜選択することができる。

【0042】

（III族窒化物半導体発光素子の製造方法：第1実施形態）

次に、本発明に従うIII族窒化物半導体発光素子100の製造方法の第1実施形態を説明する。第1実施形態に係る製造方法は、n型III族窒化物半導体層30（以下、n型層30）を形成する第1工程と、n型層30上に、障壁層40bおよび該障壁層40bよりもバンドギャップの小さい井戸層40wをこの順に交互にN層ずつ（但し、Nは整数である）積層してIII族窒化物半導体発光層40（以下、発光層40）を形成する第2工程と、発光層40上に、AlNガイド層50を形成する第3工程と、AlNガイド層50上に、電子ブロック層60を形成する第4工程と、電子ブロック層60上にp型III族窒化物半導体層70を形成する第5工程と、を含む。そして、電子ブロック層60をp型の $\text{Al}_{1-z}\text{Ga}_z\text{In}_{1-z}\text{N}$ ($0.50 \leq z \leq 0.80$) とし、障壁層40bをn型の $\text{Al}_{1-b}\text{Ga}_b\text{In}_{1-b}\text{N}$ ($z+0.01 \leq b \leq 0.95$) とすることについては先に述べたとおりであり、本発明による特に特徴的な事項である。

【0043】

ここで、第1実施形態では、上記第3工程において、トリメチルアルミニウムガスおよびアンモニアガスからなる原料ガスを用いてAlNガイド層50をエピタキシャル成長させることができる。

【0044】

まず、基板10としてサファイア基板を用意するのが一般的である。基板10の表面10AにAlN層を形成したAlNテンプレート基板を形成することが好ましく、市販のAlNテンプレート基板を用いてもよい。なお、AlN層20は、例えば、有機金属気相成長（MOCVD：Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法や分子線エピタキシ（MBE：Molecular Beam Epitaxy）法、スパッタ法などの公知の薄膜成長方法により形成

10

20

30

40

50

することができる。

【0045】

A1N層20のA1源としては、トリメチルアルミニウム（TMA）を用いることができる。また、N源としては、アンモニア（NH₃）ガスを用いることができる。これらの原料ガスを、キャリアガスとして水素ガスを用いることにより、A1N層20を形成することができる。

【0046】

なお、A1N層20の成長温度は特に限定されないが、1270℃以上1350℃以下が好ましく、1290℃以上1330℃以下がより好ましい。この温度範囲であれば、続いて熱処理工程を行う場合にA1N層20の結晶性を向上することができる。また、チャンバ内の成長圧力については、例えば5 Torr～20 Torrとすることができる。より好ましくは、8 Torr～15 Torrである。

【0047】

また、NH₃ガスなどのV族元素ガスと、TMAガスなどのIII族元素ガスの成長ガス流量を元に計算されるIII族元素に対するV族元素のモル比（以降、V/III比と記載する）については、例えば130以上190以下とすることができる。より好ましくは140以上180以下である。なお、成長温度および成長圧力に応じて最適なV/III比が存在するため、成長ガス流量を適宜設定することが好ましい。

【0048】

続いて、上述のようにして得られた、例えばサファイアからなる基板10上のA1N層20に対して、このA1N層20の成長温度よりも高温で熱処理を施すことが好ましい。この熱処理工程は、公知の熱処理炉を用いて行うことができる。かかる熱処理を行うことにより、A1N層20の（10-12）面のX線ロックアップの半値幅を400秒以下とし、高い結晶性を実現することができる。

【0049】

その後、A1N層20上に、アンドープのA1GaN層20'を形成することも好ましい。A1源としてTMA、Ga源としてトリメチルガリウム（TMG）、N源としてNH₃ガスを用いることで、A1GaN材料からなる層を形成することができ、このことは以下に説明するn型層30、n型ガイド層35、発光層40、ファイナルバリア層、A1Nガイド層50、電子ブロック層60およびp型層70の形成においても同様である。これらの原料ガスを、キャリアガスとして水素ガスもしくは窒素ガスまたは両者の混合ガスを用いてチャンバ内に供給する。また、NH₃ガスなどのV族元素ガスと、TMAガスなどのIII族元素ガスの成長ガス流量を元に計算されるV/III比については、例えば100以上10000以下とすることができる。より好ましくは300以上3000以下である。成長温度および成長圧力に応じて最適なV/III比が存在するため、成長ガス流量を適宜設定することが好ましいのはA1N層20を形成する場合と同様である。

【0050】

次に、n型層30を形成する第1工程を行う。n型層30は、A1N層20上に形成することができ、アンドープのA1GaN層20'上に形成することが好ましい。n型ドーパントについては既述のとおりである。

【0051】

続いて、発光層40を形成する第2工程を行う。井戸層40wおよび障壁層40bを形成する際のA1組成比の調整にあたっては、A1源の流量とGa源の流量の比を適宜変更すればよい。発光層40をA1GaN材料で形成する場合、成長温度を1000℃以上1400℃以下とすることが好ましく、1050℃以上1350℃以下とすることがより好ましい。

【0052】

次いで、発光層40上にA1Nガイド層50を形成する第3工程を行う。第1実施形態では、本工程において、トリメチルアルミニウムガス（TMAガス）およびアンモニアガス（NH₃ガス）からなる原料ガスを用いて発光層40上に直接、A1Nガイド層50を

10

20

30

40

50

エピタキシャル成長させる。Ga等の他のIII族元素の混入を意図的に排除するため、原料ガスはトリメチルアルミニウムガス（TMAガス）およびアンモニアガス（NH₃ガス）のみからなることが特に好ましい。キャリアガスとしては、窒素を主成分とするキャリアガスを用いることが好ましく、窒素ガスを用いることがより好ましい。また、成長温度を1000℃以上1400℃以下とすることが好ましく、1050℃以上1350℃以下とすることがより好ましい。成長時間を適宜選択することで、AlNガイド層50の厚さを0.5nm以上2.0nm以下とすることができる。

【0053】

次に、AlNガイド層50の上に電子ブロック層60を形成する第4工程を行う。さらに、電子ブロック層60上にp型層70を形成する第5工程を行う。既述のとおりp型層70は、p型コンタクト層のみ、またはp型クラッド層およびp型コンタクト層を含む複数層構造としてよい。

【0054】

p型層70を形成するためのドーパントとしては、例えばMgまたはZnなどから適宜選択して用いることができ、Mg源としては、シクロペンタジニエルマグネシウム（Cp₂Mg）を用いることができ、Zn源としては、ZnCl₂を用いることができる。複数のドーパントを混合してドーピングする場合には、ドーパント源の混合ガスをチャンバに供給すればよい。

【0055】

ここで、電子ブロック層60をAl_zGa_{1-z}N材料で形成する場合、電子ブロック層60の形成は、キャリアガスとして水素を主成分とするガスを用いることができる。原料ガスは既述のとおりTMA、TMGおよびNH₃ガスであり、さらにドーパント源のガスを適宜選択して用いる。なお、キャリアガスとして窒素ガスを用いてAlNガイド層50の形成し、キャリアガスとして水素を用いて電子ブロック層60を形成する場合、キャリアガスの切り替えが必要となる。この場合、AlNガイド層50を形成後、TMAガスの供給を中断し、キャリアガスを窒素から水素に切り替えて20秒～1分程度経過した後に、TMAガスおよびTMGガスを供給して電子ブロック層60を形成する。

【0056】

なお、本明細書において、「水素を主成分とするキャリアガス」とは、キャリアガス全体の体積に対する水素ガスの体積の比が60%以上であるキャリアガスを意味している。より好ましくは85%以上である。なお、半導体製造用として市販される純度を有するガスを用いればよい。「窒素を主成分とするキャリアガス」についても同様の意味である。なお、ここでのキャリアガスの体積比は、チャンバ内に供給されウェーハ近傍の空間を通るガスを対象としており、ヒーターやチャンバ内壁のページを主目的としてウェーハ近傍の空間を通らずに排気されるガスは含めない。つまり、ヒーターやチャンバ内壁に水素を大流量流して排気していても、ウェーハ近傍には実質的に窒素を流している場合には、「窒素を主成分とするキャリアガス」となる。

【0057】

また、p型層70の成長温度としては、Al組成比にもよるが、1000℃以上1400℃以下が好ましく、1050℃以上1350℃以下がより好ましい。また、チャンバ内の成長圧力については、例えば10Torr～760Torrとすることができる。より好ましくは、20Torr～380Torrである。ただし、p型層70のうち、Al組成比の小さいp型コンタクト層を形成する際の成長温度としては、800℃以上1400℃以下が好ましく、900℃以上1300℃以下がより好ましい。また、チャンバ内の成長圧力については、例えば10Torr～760Torrとすることができ、より好ましくは、20Torr～600Torrである。キャリアガスとしては、既述のとおり水素ガスもしくは窒素ガスまたは両者の混合ガスを用いることができる。図示しないが、p型層におけるp型コンタクト層を、Al組成比、ドーパント種、ドーパント濃度、形成時のキャリアガス種などのいずれか1つまたは複数要素を変えた複数層構造とする場合、AlNガイド層50側のキャリアガスを水素ガスとし、反対側（すなわち、p型電極90側）

10

20

30

40

50

を窒素ガスとすることもできるし、その逆としてもよい。p型クラッド層を設けてもよいが、設けない方が好ましいのは、既述のとおりである。

【0058】

最後に、発光層40、AlNガイド層50、電子ブロック層60およびp型層70の一部をエッチング等により除去し、露出したn型層30上にn型電極80を、p型層70上にp型電極90をそれぞれ形成することができる。こうして、本発明の第1実施形態の製造方法に従い、III族窒化物半導体発光素子100を作製することができる。

【0059】

(III族窒化物半導体発光素子の製造方法：第2実施形態)

第2実施形態では、AlNガイド層50を発光層40上に直接には形成せず、第3工程において発光層40上にAl組成比が障壁層40b以上AlNガイド層50未満のAlGaIn層を形成し、前記AlGaIn層の変質によりAlNガイド層50を形成する以外は第1実施形態と同様である。電子ブロック層60を形成する前においてキャリアガスを窒素から水素へと切り替える際に、第3工程で形成したAlGaIn層が成長時よりも窒素分圧の低いキャリアガス雰囲気（例えば水素を主成分とするキャリアガス雰囲気）に晒されることにより、表面からGaが抜けていく変質を生じる。その結果、表面側がAlGaIn層からAlNガイド層50に転じ、発光層側がファイナルバリア層として残存する。AlGaIn層の厚さやIII族元素の原料ガスの供給を止めて成長時よりも窒素分圧の低いキャリアガス雰囲気に晒される時間によって、前述のAlNガイド層50やファイナルバリア層の厚さを制御することができる。

【実施例】

【0060】

以下、実施例を用いて本発明をさらに詳細に説明するが、本発明は以下の実施例に何ら限定されるものではない。

【0061】

[実施例11]

サファイア基板（直径2インチ、厚さ：430 μ m、面方位：（0001）、m軸方向オフ角 θ ：0.5度）を用意した。次いで、MOCVD法により、上記サファイア基板上に中心膜厚0.60 μ m（平均膜厚0.61 μ m）のAlN層を成長させ、AlNテンプレート基板とした。その際、AlN層の成長温度は1300 $^{\circ}$ C、チャンバ内の成長圧力は10 Torrであり、V/III比が163となるようにアンモニアガスとTMAガスの成長ガス流量を設定した。V族元素ガス（NH₃）の流量は200 sccm、III族元素ガス（TMA）の流量は53 sccmである。なお、AlN層の膜厚については、光干渉式膜厚測定機（ナノスペックM6100A；ナノメトリックス社製）を用いて、ウェーハ面内の中心を含む、等間隔に分散させた計25箇所の膜厚を測定した。

【0062】

次いで、上記AlNテンプレート基板を熱処理炉に導入し、10 Paまで減圧後に窒素ガスを常圧までパージすることにより炉内を窒素ガス雰囲気とした後に、炉内の温度を昇温してAlNテンプレート基板に対して熱処理を施した。その際、加熱温度は1650 $^{\circ}$ C、加熱時間は4時間とした。

【0063】

続いて、MOCVD法により、アンドープのAlGaIn層として、Al組成比0.85から0.65まで結晶成長方向に組成傾斜させた厚さ200nmのアンドープAlGaIn層を形成した。次に、n型層として、Al_{0.65}Ga_{0.35}Nからなり、Siドープした厚さ2 μ mのn型層を形成した。なお、SIMS分析の結果、n型層のSi濃度は 1.0×10^{19} atoms/cm³であった。

【0064】

続いて、n型層上に、Al_{0.65}Ga_{0.35}NからなりSiドープした厚さ20nmのn型ガイド層を形成し、さらに障壁層として4nmのAl_{0.70}Ga_{0.30}Nを形成した。次いで、Al_{0.45}Ga_{0.55}Nからなる厚さ3nmの井戸層および厚さ4nmのAl_{0.70}Ga_{0.30}

Nからなる障壁層を交互に2層ずつ形成し、さらに $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{N}$ からなる厚さ3 nmの井戸層を形成した。すなわち、井戸層の層数および障壁層の層数Nは共に3であり、障壁層のAl組成比(b)は0.70であり、井戸層のAl組成比(w)は0.45である。なお、障壁層の形成においてはSiをドーピングした。

【0065】

その後、3層目の井戸層上に、窒素ガスをキャリアガスとし、アンダーのAlNガイド層を形成した。AlNガイド層の厚さは1 nmとした。次に、TMAガスの供給を停止しつつ、アンモニアガスを供給し続けたままキャリアガスの窒素を止めて水素を供給し、キャリアガスを水素に変更した後に、III族元素の原料ガスであるTMAガスおよびTMGガスを再び供給して、 $\text{Al}_{0.68}\text{Ga}_{0.32}\text{N}$ からなり、Mgドーピングした層さ40 nmの電子ブロック層を形成した。すなわち、電子ブロック層のAl組成比(z)は0.68であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも大きく、その差(b-z)は0.02である。

10

【0066】

続いて、キャリアガスを窒素ガスに切り替えた後、GaNからなり、Mgドーピングした厚さ150 nmのp型層(p型コンタクト層)を形成した。なお、厚さ150 nmの内の、電極に接する厚さ25 nmの領域においては、TMGガスの流量を減らしてMgの存在確率を上げ、かつ、成長速度を落とすことにより高Mg濃度の層とした。SIMS分析の結果、p型電子ブロック層側の厚さ125 nm部分のp型層のMg濃度は平均で $3.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ であり、高Mg濃度とした部分のMg濃度は平均で $1.2 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

20

【0067】

その後、p型層の上にマスクを形成してドライエッチングによるメサエッチングを行い、n型層の一部を露出させた。次いで、p型層上に、Ni/Auからなるp型電極を形成し、露出したn型層上には、Ti/Alからなるn型電極を形成した。なお、p型電極のうち、Niの厚みは50 Åであり、Auの厚みは1500 Åである。また、n型電極のうち、Tiの厚みは200 Åであり、Alの厚みは1500 Åである。最後に550℃でコンタクトアニール(RTA)を行って、電極を形成した。

【0068】

以上のとおりにして作製したIII族窒化物半導体発光素子の、各層の構成を表1に示す。

30

【0069】

【表 1】

	Al 組成比	ドーパント	厚さ
p 型コンタクト層	0	Mg	150nm
p 型電子ブロック層	0.68	Mg	40nm
AlN ガイド層	1	—	1nm
発光層	0.45	—	3nm
	0.70	Si	4nm
	0.45	—	3nm
	0.70	Si	4nm
	0.45	—	3nm
	0.70	Si	4nm
n 型ガイド層	0.65	Si	20nm
n 型半導体層	0.65	Si	2 μ m
アンドープ層 (組成傾斜層)	0.65 0.85		200nm
AlN 層	1	—	0.6 μ m
サファイア基板	—	—	430 μ m

10

20

30

【0070】

[実施例 12]

障壁層の Al 組成比 (b) を 0.71 とし、n 型ガイド層の Al 組成比を 0.71 とした以外は、実施例 11 と同様にして III 族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層の Al 組成比 (z) は 0.68 であり、障壁層の Al 組成比 (b) は電子ブロック層の Al 組成比 (z) よりも大きく、その差 (b-z) は 0.03 である。

40

【0071】

[実施例 13]

障壁層の Al 組成比 b を 0.75 とした以外は、実施例 11 と同様にして III 族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層の Al 組成比 (z) は 0.68 であり、障壁層の Al 組成比 (b) は電子ブロック層の Al 組成比 (z) よりも大きく、その差 (b-z) は 0.07 である。

【0072】

[実施例 14]

障壁層の Al 組成比 (b) を 0.80 とした以外は、実施例 11 と同様にして III 族窒

50

化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.68であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも大きく、その差(b-z)は0.12である。

【0073】

[実施例15]

障壁層のAl組成比(b)を0.85とした以外は、実施例11と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.68であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも大きく、その差(b-z)は0.17である。

【0074】

10

[比較例11]

障壁層のAl組成比(b)を0.60とした以外は、実施例11と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.68であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも小さく、その差(b-z)は-0.08である。

【0075】

[比較例12]

障壁層のAl組成比(b)を0.65とした以外は、実施例1と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.68であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも小さく、その差(b-z)は-0.03である。

20

【0076】

[比較例13]

障壁層のAl組成比(b)を0.68とし、n型ガイド層のAl組成比を0.68とした以外は、実施例1と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.68であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)と同じであるためその差(b-z)は0である。

【0077】

実施例11～実施例15及び比較例11～13ではp型電子ブロック層のAl組成比(z)を0.68としていたところ、これを0.63に変更した実験を行った。以下、実施例21～23及び比較例21に係るIII族窒化物半導体発光素子の作製条件を説明する。

30

【0078】

[実施例21]

障壁層のAl組成比(b)を0.65とし、電子ブロック層のAl組成比(z)を0.63とした以外は、実施例11と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.63であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも大きく、その差(b-z)は0.02である。

【0079】

[実施例22]

障壁層のAl組成比(b)を0.75とし、電子ブロック層のAl組成比(z)を0.63とした以外は、実施例11と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.75であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも大きく、その差(b-z)は0.12である。

40

【0080】

[実施例23]

障壁層のAl組成比(b)を0.80とし、電子ブロック層のAl組成比(z)を0.63とした以外は、実施例11と同様にしてIII族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層のAl組成比(z)は0.80であり、障壁層のAl組成比(b)は電子ブロック層のAl組成比(z)よりも大きく、その差(b-z)は0.17である。

【0081】

50

〔比較例 2 1〕

障壁層の Al 組成比 (b) を 0.60 とし、電子ブロック層の Al 組成比 (z) を 0.63 とした以外は、実施例 1 と同様にして III 族窒化物半導体発光素子を作製した。電子ブロック層の Al 組成比 (z) は 0.63 であり、障壁層の Al 組成比 (b) は電子ブロック層の Al 組成比 (z) よりも小さく、その差 (b - z) は -0.03 である。

【0082】

(評価 1: 各層の厚さと Al 組成の評価)

実施例 1 1 ~ 1 5, 2 1 ~ 2 3、比較例 1 1 ~ 1 3, 2 1 のそれぞれに対し、エピタキシャル成長により形成される各層の厚さは、光干渉式膜厚測定器を用いて測定した。

また、障壁層やブロック層を含め各層の厚さが数 nm ~ 数十 nm と薄い層は、透過型電子顕微鏡による各層の断面観察での TEM-EDS を用いて各層厚さと Al 組成比を測定した。

10

また、厚さが十分厚い層 (例えば 1 μm 以上) については、フォトルミネッセンス測定による発光波長 (バンドギャップエネルギー) から、対象とする層の Al 組成比を確認した。

【0083】

(評価 2: 発光出力と発光)

実施例 1 1 ~ 1 5, 2 1 ~ 2 3、比較例 1 1 ~ 1 3, 2 1 のそれぞれに対し、Si フォトダイオード (S1227-1010BQ、浜松ホトニクス社製) を用いて、電流 10 mA での発光出力を測定した。さらに、ファイバ光学分光器 (USB2000+、Ocean Photonics 社製) を用いて電

20

流 10 mA での発光波長も測定した。

【0084】

実施例 1 1 ~ 1 5, 2 1 ~ 2 3、比較例 1 1 ~ 1 3, 2 1 に係る III 族窒化物半導体発光素子の評価を行った結果を、n 型ガイド層、障壁層および電子ブロック層の Al 組成比と対比しつつ、表 2 に示す。

【0085】

【表 2】

	n型ガイド層 のAl組成比	障壁層の Al組成比 (b)	電子ブロック層 のAl組成比 (z)	b-z	発光出力 (mW)	発光波長 (nm)
比較例 1 1	0. 6 5	0. 6 0	0. 6 8	-0. 0 8	1. 4 4	2 8 0
比較例 1 2	0. 6 5	0. 6 5	0. 6 8	-0. 0 3	1. 3 9	2 7 5
比較例 1 3	0. 6 8	0. 6 8	0. 6 8	0	1. 4 5	2 8 6
実施例 1 1	0. 6 5	0. 7 0	0. 6 8	0. 0 2	1. 5 0	2 7 9
実施例 1 2	0. 7 1	0. 7 1	0. 6 8	0. 0 3	1. 5 1	2 7 8
実施例 1 3	0. 6 5	0. 7 5	0. 6 8	0. 0 7	1. 6 0	2 8 0
実施例 1 4	0. 6 5	0. 8 0	0. 6 8	0. 1 2	1. 6 1	2 7 9
実施例 1 5	0. 6 5	0. 8 5	0. 6 8	0. 1 7	1. 4 9	2 7 9
実施例 2 1	0. 6 5	0. 6 5	0. 6 3	0. 0 2	1. 0 1	2 7 8
実施例 2 2	0. 6 5	0. 7 5	0. 6 3	0. 1 2	1. 1 1	2 8 1
実施例 2 3	0. 6 5	0. 8 0	0. 6 3	0. 1 7	1. 0 9	2 7 8
比較例 2 1	0. 6 5	0. 6 0	0. 6 3	-0. 0 3	0. 8 8	2 8 0

【0086】

表 2 より、障壁層のAl組成比 (b) を電子ブロック層のAl組成比 (z) より大きくした場合に、発光出力を増大できることが確認された。

なお、実施例 2 1 ~ 2 3 および比較例 2 1 は、電子ブロック層のAl組成 z を 0. 6 3 とした場合である。電子ブロック層のAl組成 z が 0. 6 8 の場合であり、かつ、b - z が同じである場合に比べてこれらの発光出力は劣るものの、順方向電圧が低くなるメリットがあり、順方向電圧を低くすることが重要な用途ではAl組成 z を小さくすることが好ましい場合もある。このように電子ブロック層のAl組成 z は用途に応じて適宜設定されるが、z の値によらず、b - z の値が本発明の範囲となる場合に、発光出力が大きくなる傾向となることが示された。

【産業上の利用可能性】

【0087】

本発明によれば、従来よりも優れた発光出力を有するIII族窒化物半導体発光素子を提供することができるため、有用である。

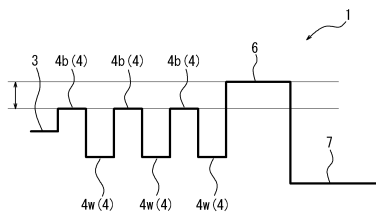
【符号の説明】

【 0 0 8 8 】

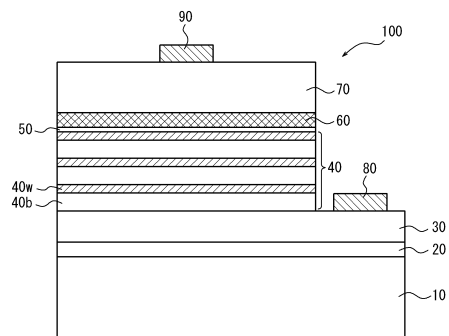
1 0 基板
 1 0 A 基板の主面
 2 0 A l N 層
 3 0 n 型層
 4 0 発光層
 4 0 b 障壁層
 4 0 w 井戸層
 5 0 A l N ガイド層
 6 0 電子ブロック層
 7 0 p 型層
 8 0 n 型電極
 9 0 p 型電極
 1 0 0 III 族窒化物半導体発光素子

10

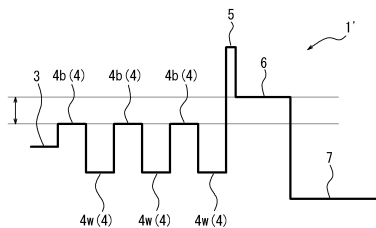
【図 1 A】



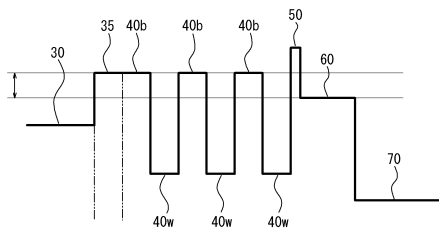
【図 2】



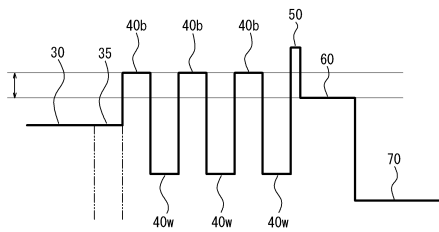
【図 1 B】



【図 3 A】



【図 3 B】



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2016/125492 (WO, A1)
特許第6379265 (JP, B1)
国際公開第2017/017891 (WO, A1)
国際公開第2018/181044 (WO, A1)
特開2000-091705 (JP, A)
特開2003-273473 (JP, A)
特開2002-314205 (JP, A)
特開平11-112087 (JP, A)
特開2008-311658 (JP, A)
特開2018-125429 (JP, A)
特表2018-532265 (JP, A)
米国特許出願公開第2015/0287876 (US, A1)
米国特許出願公開第2017/0358705 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64
H01L 21/205