

(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2014-49595
(P2014-49595A)

(43) 公開日 平成26年3月17日(2014.3.17)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
HO1L 33/32 (2010.01)	HO1L 33/00 186	5FO45
HO1L 33/14 (2010.01)	HO1L 33/00 150	5F141
HO1L 21/205 (2006.01)	HO1L 21/205	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2012-191088 (P2012-191088)	(71) 出願人	000102212 ウシオ電機株式会社 東京都千代田区大手町二丁目6番1号
(22) 出願日	平成24年8月31日 (2012.8.31)	(74) 代理人	100078754 弁理士 大井 正彦
		(72) 発明者	月原 政志 兵庫県姫路市別所町佐土1194番地 ウシオ電機株式会社内
		(72) 発明者	三好 晃平 兵庫県姫路市別所町佐土1194番地 ウシオ電機株式会社内
		(72) 発明者	川▲崎▼ 宏治 京都府京都市南区東九条南河辺町66-3 株式会社エピテックス内

最終頁に続く

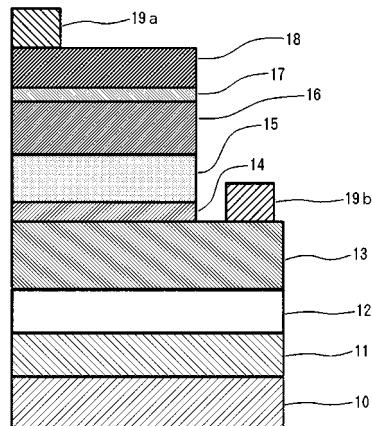
(54) 【発明の名称】窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】動作電圧が低く、高い発光効率が得られる窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】本発明の窒化物半導体素子は、n型半導体よりなる電子供給層を有する窒化物半導体素子において、前記電子供給層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ (但し、 $0.01 < x < 1$) の組成を有し、かつ、n型不純物の濃度が $1 \times 10^{19} / cm^3$ 以上であり、厚みが $0.5 \mu m$ 以上であることを特徴とする。また、前記n型不純物は、シリコン (Si) であることが好ましい。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n 型半導体よりなる電子供給層を有する窒化物半導体素子において、前記電子供給層は、 $Al_x Ga_{1-x} N$ (但し、 $0.01 < x < 1$) の組成を有し、かつ、 n 型不純物の濃度が $1 \times 10^{19} / cm^3$ 以上であり、厚みが $0.5 \mu m$ 以上であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 2】

前記 n 型不純物は、シリコン (Si) であることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体素子。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、 n 型半導体よりなる電子供給層を有する窒化物半導体素子に関し、特に発光ダイオード (LED) やレーザダイオード (LD) などに好適な窒化物半導体素子に関する。 20

【背景技術】

【0002】

アルミニウム (Al)、ガリウム (Ga)、インジウム (In) などの III 族元素の窒化物による窒化物半導体素子は、短波長の発光ダイオード (LED) や短波長のレーザダイオード (LD) などの短波長発光素子として利用されている。かかる窒化物半導体素子は、 n 型半導体よりなる電子供給層と、 p 型半導体層よりなる正孔供給層との間に、量子井戸構造を有する発光層が介在されて構成されている。 20

このような窒化物半導体素子においては、高い発光効率を得るために、素子の低抵抗化を図ることが肝要である。そして、従来、素子の低抵抗化を図るために、 n 型半導体層が、シリコン (Si) などの n 型不純物が高い濃度でドーピングされた高濃度層と、この高濃度層よりも低い濃度で n 型不純物がドーピングされた低濃度層との積層体よりなるものが提案されている (特許文献 1 参照。)。 30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2007-258529 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記の窒化物半導体素子において、 n 型半導体層を構成する材料として、青色 LED に代表的に使用されている窒化ガリウム (GaN) を用いる場合には、 n 型半導体層中に高い濃度で n 型不純物がドーピングされると、得られる n 型半導体層の表面に膜荒れが生じる。このため、得られる窒化物半導体素子の発光効率が低下したり、動作電圧が上昇したりする、という問題がある。 40

【0005】

本発明は、以上のような事情に基づいてなされたものであって、その目的は、動作電圧が低く、高い発光効率が得られる窒化物半導体素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の窒化物半導体素子は、 n 型半導体よりなる電子供給層を有する窒化物半導体素子において、

前記電子供給層は、

$Al_x Ga_{1-x} N$ (但し、 $0.01 < x < 1$) の組成を有し、かつ、

50

n 型不純物の濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上であり、
厚みが $0.5 \mu\text{m}$ 以上である
ことを特徴とする。

【0007】

本発明の窒化物半導体素子においては、前記 n 型不純物は、シリコン (Si) であることが好ましい。

【発明の効果】

【0008】

本発明の窒化物半導体素子によれば、電子供給層が、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 $0.01 < x < 1$) の組成を有するため、 n 型不純物が高い濃度でドーピングされても、表面が平坦な電子供給層が得られる。そして、電子供給層の n 型不純物の濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上であるため、当該電子供給層の低抵抗化を図ることができる。従って、動作電圧が低く、高い発光効率が得られる窒化物半導体素子を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の窒化物半導体素子の一例における構成を示す説明用断面図である。

【図2】本発明の窒化物半導体素子の他の例における構成を示す説明用断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の窒化物半導体素子の実施の形態について説明する。

図1は、本発明の窒化物半導体素子の一例における構成を示す説明用断面図である。この窒化物半導体素子は、LEDとして構成された横型構造のものであって、例えばサファイアよりなる基板10上に、それぞれ窒化物半導体よりなる低温バッファ層11および下地層12を介して、 n 型窒化物半導体よりなる電子供給層13が形成されている。この電子供給層13上には、当該電子供給層13よりサイズの小さい p 型GaNよりなる保護層14を介して、発光層15が形成されている。この発光層15上には、 p 型窒化物半導体よりなる正孔供給層16が形成されている。この正孔供給層16の表面には、 n 型GaNよりなるコンタクト層17を介して、ニッケル/金よりなる p 電極層18が形成されている。この p 電極層17上には、クロム/金よりなる p パッド電極19aが形成されている。また、電子供給層13上における発光層15が形成されていない領域には、クロム/金よりなる n パッド電極19bが形成されている。

20

30

【0011】

基板10の厚みは、例えば $0.2 \sim 2 \text{ mm}$ である。

バッファ層11および下地層12を構成する窒化物半導体としては、不純物がドーピングされていないGaN単結晶、AlGaN単結晶などを用いることができる。

バッファ層11の厚みは、例えば $10 \sim 100 \text{ nm}$ である。

また、下地層12の厚みは、例えば $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ である。

【0012】

電子供給層13を構成する n 型窒化物半導体は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 $0.01 < x < 1$) の組成を有するものである。この電子供給層13を構成する窒化物半導体において、Alの割合が過小である場合には、表面が平坦な電子供給層13を形成することが困難となる。

40

また、電子供給層13を構成する n 型窒化物半導体における n 型不純物の濃度は、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上とされ、好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ とされる。 n 型不純物の濃度が過小である場合には、電子供給層13の低抵抗化を図ることが困難となる。

n 型窒化物半導体における n 型不純物としては、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、硫黄(S)、セレン(Se)、錫(Sn)およびテルル(Te)などを用いることができ、これらの中では、シリコン(Si)が好ましい。

また、電子供給層13の厚みは、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上とされ、好ましくは $0.6 \sim 5 \mu\text{m}$ と

50

される。電子供給層13の厚みが過小である場合には、電流広がりが不十分になることがあり、電流注入時に電流集中部を作り素子特性が低下してしまうことがある。

【0013】

発光層15は、例えばGaInNよりなる量子井戸層と、例えばAlGaNよりなる障壁層とによる単一量子井戸構造または多重量子井戸構造を有するものである。

量子井戸層の厚みは、例えば1~50nmである。また、障壁層の厚みは、例えば5~100nmである。

また、量子井戸層の周期は、量子井戸層、障壁層および発光層15全体の厚みなどを考慮して適宜設定されるが、通常、1~50周期である。

【0014】

正孔供給層16を構成するp型窒化物半導体は、例えばAlGaNによって形成されている。

また、p型半導体におけるp型不純物としては、マグネシウム(Mg)、ベリリウム(Be)、亜鉛(Zn)、カーボン(C)などを用いることができる。

また、正孔供給層16は、AlとGaとの組成比率が異なる複数のp型AlGaN層の積層体によって形成されていてもよい。

また、正孔供給層16の厚みは、例えば0.05~1μmである。

【0015】

上記の窒化物半導体素子は、有機金属気相成長法(MOCVD)により、以下のようにして製造することができる。

〔低温バッファ層および下地層の形成〕

先ず、CVD装置の処理炉内に基板10を配置し、処理炉内に例えば水素ガスを流しながら、炉内温度を例えば1150℃に昇温することにより、基板10のクリーニングを行う。

次いで、炉内圧力および炉内温度を所定の値に設定し、処理炉内にキャリアガスとして窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、原料ガスを供給することにより、気相成長によって基板10の表面に低温バッファ層11を形成する。

次いで、炉内圧力および炉内温度を所定の値に設定し、処理炉内に原料ガスを供給することにより、気相成長によって低温バッファ層11の表面に下地層12を形成する。

以上において、原料ガスとしては、III族元素源としてトリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムが用いられ、窒素源としてアンモニアが用いられる。

低温バッファ層11を形成するための条件としては、炉内圧力が例えば100kPaで、炉内温度が例えば480℃である。

また、下地層12を形成するための条件としては、炉内圧力が例えば100kPaで、炉内温度が例えば1150℃である。

【0016】

〔電子供給層および保護層の形成〕

次いで、炉内圧力および炉内温度を所定の値に設定し、処理炉内にキャリアガスとして窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、原料ガスとして、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、アンモニアおよびテトラエチルシランを供給することにより、気相成長によって下地層12の表面に、n型窒化物半導体よりなる電子供給層13を形成する。その後、トリメチルアルミニウム以外の原料ガスを供給することにより、気相成長によって電子供給層13上にn型GaNよりなる保護層14を形成する。

金属元素源として用いられるトリメチルガリウムとトリメチルアルミニウムとの割合(流量比)は、形成すべき電子供給層11の組成によって適宜設定される。

電子供給層13を形成するための条件としては、炉内圧力が例えば30kPaで、炉内温度が例えば1150℃である。

【0017】

〔発光層の形成〕

次いで、炉内圧力および炉内温度を所定の値に設定し、処理炉内にキャリアガスとして

10

20

30

40

50

窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、原料ガスとして、トリメチルガリウム、トリメチルインジウムおよびアンモニアを処理炉内に供給した後、原料ガスとして、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、テトラエチルシランおよびアンモニアを処理炉内に供給する操作を繰り返すことにより、GaNNよりなる量子井戸層およびシリコン(Si)がドーピングされたn型AlGaNよりなる障壁層による量子井戸構造を有する発光層15を、電子供給層13の表面に形成する。

発光層15を形成するための条件としては、炉内圧力が例えば100kPaで、炉内温度が例えば830である。

【0018】

〔正孔供給層の形成〕

次いで、炉内圧力および炉内温度を所定の値に設定し、キャリアガスとして窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、原料ガスとして、トリメチルガリウムトリメチルアルミニウム、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、およびアンモニアを供給することにより、第1のp型AlGaN層を形成し、更に、原料ガスのうちトリメチルアルミニウムの流量を変更して原料ガスを供給することにより、第1のp型AlGaN層と組成の異なる第2のp型AlGaN層を形成し、以て、第1のp型AlGaN層および第2のp型AlGaN層よりなる正孔供給層16を形成する。その後、トリメチルアルミニウム以外の原料ガスを供給することにより、気相成長によって正孔供給層16上にn型GaNよりなる保護層17を形成する。

【0019】

〔p電極層、pパッド電極およびnパッド電極の形成〕

このようにして、基板上に、低温バッファ層および下地層を介して、電子供給層、保護層、発光層、正孔供給層およびコンタクト層が形成されてなる窒化物半導体に対して、窒素雰囲気下中において、例えば500で15分間の活性化処理を行う。

次いで、フォトリソグラフィおよびICP装置(誘導結合型プラズマ装置)を用い、正孔供給層16および発光層15に対してフォトエッチング処理を施して一部を除去することにより、電子供給層13の表面を露出させる。そして、コンタクト層17上に、Ni層およびAu層よりなるp電極層18を形成する。その後、大気中において、例えば500で5分間のアニール処理を行う。そして、p電極層18および電子供給層13の表面に、CrおよびAlを蒸着することにより、pパッド電極19aおよびnパッド電極19bを形成し、以て、図1に示す窒化物半導体素子が得られる。

【0020】

上記の窒化物半導体素子によれば、電子供給層13が、Al_xGa_{1-x}N(但し、0.01 < x < 1)の組成を有するため、n型不純物が高い濃度でドーピングされても、表面が平坦な電子供給層13が得られる。そして、電子供給層13のn型不純物の濃度が1×10¹⁹/cm³以上であるため、当該電子供給層13の低抵抗化を図ることができる。従って、動作電圧が低く、発光効率の高い窒化物半導体素子が得られる。

【0021】

図2は、本発明の窒化物半導体素子の一例における構成を示す説明用断面図である。この窒化物半導体素子は、LEDとして構成された縦型構造のものであって、例えばシリコン(Si)よりなる基板20上に、例えばAuとSnとの比率が8:2であるハンダ層21およびTi/Ptよりなるハンダ拡散防止層22を介して、Ni/Agよりなるp反射電極層23が形成されている。p反射電極層23上には、その周縁領域および中心領域にSiO₂層24, 25が形成されている。SiO₂層25を含むp反射電極層23上には、p型窒化物半導体よりなる正孔供給層26が形成されている。SiO₂層24, 25の代わりにSiN等よりなる絶縁膜が形成されていてもよく、SiO₂層25の代わりに、p型窒化物半導体層とショットキー接続となる導電物質よりなる層が形成されていてよい。正孔供給層26上には、発光層27が形成され、この発光層27上には、n型窒化物半導体よりなる電子供給層28が形成されている。この電子供給層28上には、n電極29, 30が形成されている。

10

20

30

40

50

【0022】

以上において、正孔供給層26、発光層27および電子供給層28は、図1に示す窒化物半導体素子における正孔供給層16、発光層15および電子供給層13と同様の構成である。

また、正孔供給層26、発光層27および電子供給層28は、図1に示す窒化物半導体素子における正孔供給層16、発光層15および電子供給層13と同様にして形成することができる。

【0023】

上記の窒化物半導体素子によれば、電子供給層28が、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （但し、 $0.01 < x < 1$ ）の組成を有するため、n型不純物が高い濃度でドーピングされても、表面が平坦な電子供給層28が得られる。そして、電子供給層28のn型不純物の濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上であるため、当該電子供給層28の低抵抗化を図ることができる。従って、動作電圧が低く、発光効率の高い窒化物半導体素子が得られる。

10

【実施例】

【0024】

以下、本発明の窒化物半導体素子の具体的な実施例について説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0025】

実験例1

20

(1) 低温バッファ層の形成：

CVD装置の処理炉内にc面サファイア基板を配置し、処理炉内に流量が $10\text{s}1\text{m}$ の水素ガスを流しながら、炉内温度を例えば 1150 に昇温することにより、c面サファイア基板のクリーニングを行った。

次いで、CVD装置の炉内圧力を 100kPa 、炉内温度を 480 とした。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量がそれぞれ $5\text{s}1\text{m}$ の窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が 50μmol/min のトリメチルガリウムおよび流量が 250000μmol/min のアンモニアを処理炉内に 68 秒間供給することにより、c面サファイア基板の表面に、厚みが 20nm のGaNよりなる低温バッファ層を形成した。

(2) 下地層の形成：

30

次いで、CVD装置の炉内温度を 1150 に昇温した。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が $20\text{s}1\text{m}$ の窒素ガスおよび流量が $15\text{s}1\text{m}$ の水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が 100μmol/min のトリメチルガリウムおよび流量が 25000μmol/min のアンモニアを処理炉内に 30 分間供給することにより、第1バッファ層の表面に、厚みが 1.7μm のGaNよりなる下地層を形成した。

(3) 電子供給層の形成

次いで、CVD装置の炉内圧力を 30kPa とした。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が $20\text{s}1\text{m}$ の窒素ガスおよび流量が $15\text{s}1\text{m}$ の水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が 94μmol/min のトリメチルガリウム、流量が 6μmol/min のトリメチルアルミニウム（TMA1）、流量が 250000μmol/min のアンモニアおよび流量が 0.13μmol/min のテトラエチルシランを処理炉内に 3 分間供給することにより、下地層の表面に厚みが 1.7μm の電子供給層を形成した。

40

(4) 電子供給層の分析：

得られた電子供給層を分析したところ、 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ の組成を有し、Si濃度が $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

また、電子供給層の表面を観察したところ、鏡面であることが確認された。

【0026】

比較実験例1

実験例1の(1)および(2)と同様の操作を行うことにより、c面サファイア基板の表面に、厚みが 20nm のGaNよりなる低温バッファ層および厚みが 1.7μm のGaN

50

Nよりなる下地層を形成した。

次いで、CVD装置の炉内圧力を30kPaとした。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が20s1mの窒素ガスおよび流量が15s1mの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が100μmol/minのトリメチルガリウム、流量が250000μmol/minのアンモニアおよび流量が0.05μmol/minのテトラエチルシランを処理炉内に53分間供給することにより、下地層の表面に厚みが3μmの電子供給層を形成した。

得られた電子供給層を分析したところ、GaNの組成を有し、Si濃度が $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

また、電子供給層の表面を観察したところ、膜荒れが生じたものであった。

10

【0027】

実施例1

(1) 低温バッファ層および下地層の形成:

実験例1の(1)および(2)と同様の操作を行うことにより、c面サファイア基板の表面に、厚みが20nmのGaNよりなる低温バッファ層および厚みが1.7μmのGaNよりなる下地層を形成した。

(2) 電子供給層および保護層の形成:

次いで、CVD装置の炉内圧力を30kPaとした。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が20s1mの窒素ガスおよび流量が15s1mの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が94μmol/minのトリメチルガリウム、流量が6μmol/minのトリメチルアルミニウム、流量が250000μmol/minのアンモニアおよび流量が0.025μmol/minのテトラエチルシランを処理炉内に30分間供給することにより、Al_{0.06}Ga_{0.94}Nの組成を有し、Si濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ で厚みが1.7μmの電子供給層を下地層の表面に形成した。その後、トリメチルアルミニウムの供給を停止すると共に、それ以外の原料ガスを6秒間供給することにより、厚みが5nmのn型GaNよりなる保護層を形成した。

20

【0028】

(3) 発光層の形成:

次いで、CVD装置の炉内圧力を100kPa、炉内温度を830とした。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が15s1mの窒素ガスおよび流量が1s1mの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が10μmol/minのトリメチルガリウム、流量が12μmol/minのトリメチルインジウムおよび流量が300000μmol/minのアンモニアを処理炉内に48秒間供給した後、流量が10μmol/minのトリメチルガリウム、流量が1.6μmol/minのトリメチルアルミニウム、0.002μmol/minのテトラエチルシランおよび流量が300000μmol/minのアンモニアを処理炉内に120秒間供給する操作を繰り返すことにより、厚みが2nmのGaNNよりなる井戸層および厚みが7nmのn型AlGaNよりなる障壁層による15周期の多重量子井戸構造を有する発光層を、電子供給層の表面に形成した。

30

【0029】

(4) 正孔供給層およびコンタクト層の形成:

次いで、CVD装置の炉内圧力を100kPaに維持したまま、処理炉内にキャリアガスとして流量が15s1mの窒素ガスおよび流量が25s1mの水素ガスを流しながら、炉内温度を1050に昇温した。その後、原料ガスとして、流量が35μmol/minのトリメチルガリウム、流量が20μmol/minのトリメチルアルミニウム、流量が250000μmol/minのアンモニアおよび流量が0.1μmol/minのビスシクロペニタジエニルを処理炉内に60秒間供給することにより、発光層の表面に、厚みが20nmのAl_{0.3}Ga_{0.7}Nの組成を有するp型半導体層を形成した。その後、トリメチルアルミニウムの流量を9μmol/minに変更して原料ガスを360秒間供給することにより、厚みが120nmのAl_{0.13}Ga_{0.87}Nの組成を有するp型半導体層を形成した。その後、トリメチルアルミニウムの供給を停止すると共に、ビスシクロペニタ

40

50

ジエニルの流量を $0.2 \mu\text{mol}/\text{min}$ に変更して原料ガスを 20 秒間供給することにより、厚みが 5 nm の p 型 GaN よりなるコンタクト層を形成した。

【0030】

(5) p 電極層、p パッド電極およびn パッド電極の形成：

このようにして、c 面サファイア基板上に、低温バッファ層および下地層を介して、電子供給層、保護層、発光層、正孔供給層およびコンタクト層が形成されてなる窒化物半導体に対して、窒素雰囲気下中において、例えば 500 で 15 分間の活性化処理を行った。

次いで、フォトリソグラフィおよびICP 装置（誘導結合型プラズマ装置）を用い、窒化物半導体における正孔供給層 16 および発光層 15 に対してフォトエッチング処理を施して一部を除去することにより、電子供給層の表面を露出させた。そして、コンタクト層に、厚みが 3 nm の Ni 層および厚みが 3 nm の Au 層よりなる p 電極層を形成した。その後、大気中において、500 で 5 分間のアニール処理を行った。そして、p 電極層および電子供給層の表面に、Cr および Al を蒸着することにより、それぞれ 30 nm の Cr 層および 200 nm の Au 層よりなる p パッド電極および n パッド電極を形成し、以て、図 1 に示す横型構造の窒化物半導体素子を製造した。この窒化物半導体素子の発光ピーク波長は、365 nm である。

【0031】

実施例 2

電子供給層および保護層の形成を、以下のようにして実施したこと以外は、実施例 1 と同様にして図 1 に示す横型構造の窒化物半導体素子を製造した。この窒化物半導体素子の発光ピーク波長は、365 nm である。

CVD 装置の炉内圧力を 30 kPa とし、処理炉内にキャリアガスとして流量が 20 s 1 m の窒素ガスおよび流量が 15 s 1 m の水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が $9.4 \mu\text{mol}/\text{min}$ のトリメチルガリウム、流量が $6 \mu\text{mol}/\text{min}$ のトリメチルアルミニウム、流量が $250000 \mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアおよび流量が $0.13 \mu\text{mol}/\text{min}$ のテトラエチルシランを処理炉内に 30 分間供給することにより、Al_{0.06}Ga_{0.94}N の組成を有し、Si 濃度が $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ で厚みが 1.7 μm の電子供給層を下地層の表面に形成した。その後、トリメチルアルミニウムの供給を停止すると共に、それ以外の原料ガスを 6 秒間供給することにより、厚みが 5 nm の n 型 GaN よりなる保護層を形成した。

【0032】

比較例 1

Al_{0.06}Ga_{0.94}N の組成を有する電子供給層および保護層を形成する代わりに比較実験例 1 と同様にして、Al_{0.06}Ga_{0.94}N 形成条件でトリメチルアルミニウム (TMA1) の供給を行わず、Si 濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の GaN よりなる電子供給層を形成したこと以外は、実施例 1 と同様にして横型構造の窒化物半導体素子を製造した。

【0033】

実施例 1 ~ 2 および比較例 1 で得られた窒化物半導体素子の各々を、TO-18 ステムパッケージに実装して LED 装置を作製した。得られた LED 装置に 20 mA の電流を供給して発光させ、この状態で LED 装置の動作電圧を測定すると共に、当該 LED 装置から 5 mm 離間した位置の光出力を光検出器によって測定した。結果を表 1 に示す。

【0034】

10

20

30

40

【表1】

	出力 (mW)	動作電圧 (V)	電力効率 (%)
実施例1	2.8	3.7	3.8
実施例2	3.0	3.5	4.3
比較例1	2.6	3.6	3.6

【0035】

10

表1の結果から、実施例1～2に係る窒化物半導体素子によれば、動作電圧が低く、高い発光効率が得られることが確認された。これに対して、比較例1に係る窒化物半導体素子は、出力が低く、発光効率が低いものであった。

【0036】

実施例3

(1) 低温バッファ層：

CVD装置の処理炉内にc面サファイア基板を配置し、処理炉内に流量が10s1mの水素ガスを流しながら、炉内温度を例えば1300に昇温することにより、c面サファイア基板のクリーニングを行った。

20

次いで、CVD装置の炉内圧力を10kPaとし、処理炉内にキャリアガスとして流量がそれぞれ8s1mの窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、炉内温度を950とし、原料ガスとして、流量が8.7μmol/minのトリメチルアルミニウムおよび流量が13920μmol/minのアンモニアを処理炉内に700秒間供給することにより、c面サファイア基板の表面に、厚みが50nmのAlNよりなる低温バッファ層を形成した。

20

(2) 下地層の形成：

次いで、CVD装置の炉内温度を1350に昇温した。そして、処理炉内にキャリアガスとしてそれぞれ流量が8s1mの窒素ガスおよび水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が50μmol/minのトリメチルアルミニウムおよび流量が22000μmol/minのアンモニアを処理炉内に80分間供給することにより、低温バッファ層の表面に、厚みが1μmのAlNよりなる下地層を形成した。

30

【0037】

(3) 電子供給層および保護層の形成：

次いで、CVD装置の炉内圧力を30kPa、炉内温度を1170に設定した。そして、処理炉内にキャリアガスとして流量が15s1mの窒素ガスおよび流量が12s1mの水素ガスを流しながら、原料ガスとして、流量が80μmol/minのトリメチルガリウム、流量が20μmol/minのトリメチルアルミニウム、流量が250000μmol/minのアンモニアおよび流量が0.07μmol/minのテトラエチルシリジンを処理炉内に17分間供給することにより、Al_{0.2}Ga_{0.8}Nの組成を有し、Si濃度が3×10¹⁹/cm³で厚みが1μmの電子供給層を下地層の表面に形成した。その後、トリメチルアルミニウムの供給を停止すると共に、それ以外の原料ガスを7秒間供給することにより、厚みが5nmのn型GaNよりなる保護層を形成した。

40

【0038】

(4) 発光層の形成：

次いで、CVD装置の炉内圧力を60kPaとし、処理炉内にキャリアガスとして流量が16s1mの窒素ガスを流しながら、炉内温度を840とした。そして、原料ガスとして、流量が10μmol/minのトリメチルガリウム、流量が2μmol/minのトリメチルアルミニウム、流量が35μmol/minのトリメチルインジウムおよび流量が300000μmol/minのアンモニアを処理炉内に48秒間供給した後、流量が10μmol/minのトリメチルガリウム、流量が4μmol/minのトリメチル

50

アルミニウム、 $0.002 \mu\text{mol}/\text{min}$ のテトラエチルシランおよび流量が $3000 \mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアを処理炉内に 120 秒間供給する操作を繰り返すことにより、厚みが 2 nm の GaInN よりなる井戸層および厚みが 7 nm の n 型 AlGaN よりなる障壁層による 15 周期の多重量子井戸構造を有する発光層を、電子供給層の表面に形成した。

【0039】

(5) 正孔供給層およびコンタクト層の形成：

次いで、CVD装置の炉内圧力を 60 kPa に維持したまま、処理炉内にキャリアガスとして流量が 15 slm の窒素ガスおよび流量が 25 slm の水素ガスを流しながら、炉内温度を 1050 に昇温した。その後、原料ガスとして、流量が $100 \mu\text{mol}/\text{min}$ のトリメチルガリウム、流量が $40 \mu\text{mol}/\text{min}$ のトリメチルアルミニウム、流量が $250000 \mu\text{mol}/\text{min}$ のアンモニアおよび流量が $0.26 \mu\text{mol}/\text{min}$ のビスシクロペンタジエニルを処理炉内に 20 秒間供給することにより、発光層の表面に、厚みが 20 nm の $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ の組成を有する p 型半導体層を形成した。その後、トリメチルアルミニウムの流量を $25 \mu\text{mol}/\text{min}$ に変更して原料ガスを 100 秒間供給することにより、厚みが 100 nm の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ の組成を有する p 型半導体層を形成した。その後、トリメチルアルミニウムの供給を停止すると共に、ビスシクロペンタジエニルの流量を $0.2 \mu\text{mol}/\text{min}$ に変更して原料ガスを 5 秒間供給することにより、厚みが 5 nm の p 型 GaN よりなるコンタクト層を形成した。

【0040】

(6) p 電極層、 p パッド電極および n パッド電極の形成：

このようにして、基板上に、低温バッファ層および下地層を介して、電子供給層、保護層、発光層、正孔供給層およびコンタクト層が形成されてなる窒化物半導体に対して、窒素雰囲気下中において、 500 で 15 分間の活性化処理を行った。

次いで、フォトリソグラフィおよびICP装置（誘導結合型プラズマ装置）を用い、窒化物半導体における正孔供給層 16 および発光層 15 に対してフォトエッチング処理を施して一部を除去することにより、電子供給層の表面を露出させた。そして、コンタクト層に、厚みが 3 nm の Ni 層および厚みが 3 nm の Au 層よりなる p 電極層を形成した。その後、大気中において、 500 で 5 分間のアニール処理を行った。そして、 p 電極層および電子供給層の表面に、 Cr および Al を蒸着することにより、それぞれ 30 nm の Cr 層および 200 nm の Au 層よりなる p パッド電極および n パッド電極を形成し、以て、図1に示す横型構造の窒化物半導体素子を製造した。この窒化物半導体素子の発光ピーク波長は、 340 nm である。

【0041】

実施例3で得られた窒化物半導体素子の各々を、TO-18ステムパッケージに実装してLED装置を作製した。得られたLED装置に 20 mA の電流を供給して発光させ、この状態でLED装置の動作電圧を測定すると共に、当該LED装置から 5 mm 離間した位置の光出力を光検出器によって測定した。その結果、光出力が 0.5 mW 、動作電圧が 4.2 V 、電力効率が 0.6% であった。

【0042】

実施例4

実施例2と同様にして、c面サファイア基板上に、低温バッファ層および下地層を介して、電子供給層、保護層、発光層、正孔供給層およびコンタクト層が形成されてなる窒化物半導体を作製し、窒素雰囲気下中において、 500 で 15 分間の活性化処理を行った。

次いで、フォトリソグラフィおよびICP装置（誘導結合型プラズマ装置）を用い、コンタクト層、正孔供給層および発光層の周縁部分に対してフォトエッチング処理を施すことにより、電子供給層の周縁部の表面を露出させた。そして、スパッタ装置により、電子供給層の周縁部における露出した表面およびコンタクト層の中心部分の表面に、厚みが 400 nm の SiO_2 層を形成した。そして、スパッタ装置により、コンタクト層およびS

10

20

30

40

50

SiO_2 層の各々における露出した表面全面に、厚みが 0.7 nm の Ni 層および厚み 1.2 0 nm の Ag 層よりなる p 反射電極層を形成した。

このようにして、 SiO_2 層および p 反射電極層が形成された窒化物半導体に対して、急速加熱装置 (RTA) により、ドライエアー雰囲気中において 400 で 2 分間のコンタクトアニール処理を行った。

次いで、p 反射電極上に、電子線蒸着装置 (EB) により、厚みが 100 nm の Ti 層および厚みが 200 nm の Pt 層が 3 周期で積層されてなるハンダ拡散防止層を形成した。

一方、シリコン基板上に、電子線蒸着装置 (EB) により、厚みが 10 nm の Ti 膜を介して、Au と Sn の比率が 8 : 2 である厚みが 4 μm のハンダ層を形成した。そして、シリコン基板に形成されたハンダ層上に、上記のハンダ拡散防止層が形成された窒化物半導体を、当該ハンダ拡散防止層が当該ハンダ層に接するよう位置合わせして配置し、280, 0.1 MPa の条件で加熱加圧処理を行うことにより、両者を接合した。

次いで、KrF エキシマレーザを照射することによって、サファイア基板を低温バッファ層から剥離した。その後、ICP 装置を用い、低温バッファ層および下地層を除去することにより、電子供給層の表面を露出させた。そして、水酸化カリウム水溶液により、電子供給層の表面を粗面化処理した。その後、電子供給層の表面に、厚みが 100 nm の Cr 層および厚みが 3 μm の Au 層よりなる n 電極を形成した。

そして、窒素雰囲気中において、250 で 1 分間のシンタリングを行うことにより、図 2 に示す縦型構造の窒化物半導体素子を製造した。この窒化物半導体素子の発光ピーク波長は、365 nm である。

【0043】

実施例 4 で得られた窒化物半導体素子の各々を、表面実装用のパッケージに実装して LED 装置を作製した。得られた LED 装置に 350 mA の電流を供給して発光させ、この状態で LED 装置の動作電圧を測定すると共に、当該 LED 装置から 5 mm 離間した位置の光出力を光検出器によって測定した。その結果、光出力が 150 mW、動作電圧が 4.5 V、電力効率が 11 % であった。

【符号の説明】

【0044】

10 基板

11 低温バッファ層

12 下地層

13 電子供給層

14 保護層

15 発光層

16 正孔供給層

17 コンタクト層

18 p 電極層

19 a p パッド電極

19 b n パッド電極

20 基板

21 ハンダ層

22 ハンダ拡散防止層

23 p 反射電極層

24, 25 SiO_2 層

26 正孔供給層

27 発光層

28 電子供給層

29, 30 n 電極

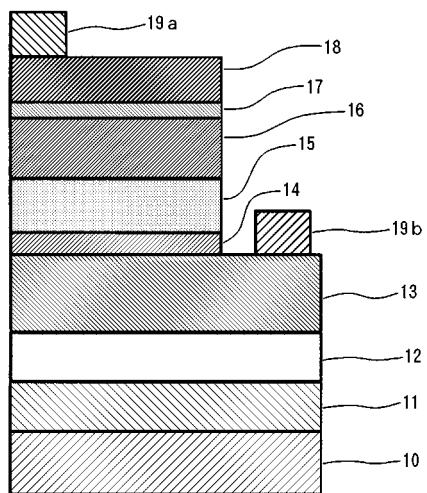
10

20

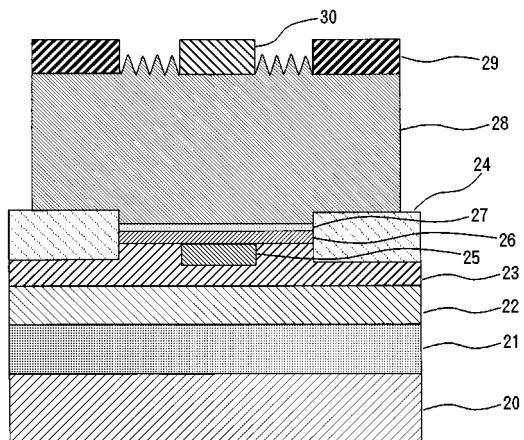
30

40

【図1】



【図2】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC09 AC12 AC15 AC19 AD08 AD15
AE25 AF04 AF09 BB16 CA10 CA12 DA53 DA59 EB15
5F141 AA03 AA21 AA40 CA04 CA05 CA12 CA23 CA40 CA49 CA57
CA58 CA65 CA74 CA85 CA87 CA92 CA98 CB03 CB04 CB15