

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4629178号
(P4629178)

(45) 発行日 平成23年2月9日(2011.2.9)

(24) 登録日 平成22年11月19日(2010.11.19)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 33/32 (2010.01)

HO 1 S 5/343 (2006.01)

HO 1 L 33/00 1 8 6

HO 1 S 5/343

請求項の数 6 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2000-15971 (P2000-15971)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成12年1月25日 (2000.1.25)		日亜化学工業株式会社
(62) 分割の表示	特願平11-112908の分割		徳島県阿南市上中町岡491番地100
原出願日	平成11年4月20日 (1999.4.20)	(74) 代理人	100100158
(65) 公開番号	特開2000-244013 (P2000-244013A)		弁理士 鮫島 睦
(43) 公開日	平成12年9月8日 (2000.9.8)	(74) 代理人	100068526
審査請求日	平成18年4月20日 (2006.4.20)		弁理士 田村 恭生
審判番号	不服2009-17407 (P2009-17407/J1)	(74) 代理人	100138863
審判請求日	平成21年9月16日 (2009.9.16)		弁理士 言上 恵一
(31) 優先権主張番号	特願平10-284345	(72) 発明者	谷沢 公二
(32) 優先日	平成10年10月6日 (1998.10.6)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		日亜化学工業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平10-368294	(72) 発明者	三谷 友次
(32) 優先日	平成10年12月25日 (1998.12.25)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		日亜化学工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に、n 側窒化物半導体層、活性層及び p 側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $In_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 層を含む多重量子井戸構造であり、

前記 n 側窒化物半導体層が、

n 型不純物を含む n 側コンタクト層と、

n 型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされている同一組成を有する少なくとも 2 種類の窒化物半導体層が積層されてなる n 側第 1 多層膜層と、

In を含む第 1 の窒化物半導体層と、その第 1 の窒化物半導体層と異なる組成を有する第 2 の窒化物半導体層とが積層されてなる n 側第 2 多層膜層と、を含み、

前記基板上にバッファ層を介して前記 n 側コンタクト層、前記 n 側第 1 多層膜層、前記 n 側第 2 多層膜層、前記活性層が順に具備されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 2】

前記 p 側窒化物半導体層が、互いにバンドギャップエネルギーが異なりかつ p 型不純物濃度が異なる又は同一の第 3 と第 4 の窒化物半導体層が積層されてなる p 側多層膜クラッド層を含むことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3】

前記 p 側窒化物半導体層が、p 型不純物を含み $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) よりなる p 側単一膜クラッド層を含むことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】

前記 n 側第 1 多層膜層と活性層との間に、 In を含む第 1 の窒化物半導体層と、その第 1 の窒化物半導体層と異なる組成を有する第 2 の窒化物半導体層とが積層された n 側第 2 多層膜層を有する請求項 1 ~ 3 のうちのいずれか 1 項に記載の窒化半導体素子。

【請求項 5】

前記 n 側コンタクト層が、アンドープ GaN 層の上に形成されてな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。

【請求項 6】

前記窒化物半導体素子において、前記アンドープ GaN 層が低温成長させた $Ga_{1-d}Al_dN$ ($0 < d < 1$) からなるバッファ層上に形成され、更に前記 p 側多層膜クラッド層又は p 側単一膜クラッド層上に p 型不純物として Mg を含む p 側 GaN コンタクト層を形成してなる請求項 5 に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、発光ダイオード (LED)、レーザダイオード (LD)、太陽電池、光センサー等の発光素子、受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体 (例えば、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、 $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) 素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

窒化物半導体は高輝度青色 LED、純緑色 LED の材料として、フルカラー LED ディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらの LED 素子は基本的に、サファイア基板上に GaN よりなるバッファ層と、 Si ドープ GaN よりなる n 側コンタクト層と、単一量子井戸構造 (SQW: Single-Quantum-Well) の $InGaN$ 、あるいは $InGaN$ を有する多重量子井戸構造 (MQW: Multi-Quantum-Well) の活性層と、 Mg ドープ $AlGa$ N よりなる p 側クラッド層と、 Mg ドープ GaN よりなる p 側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20 mA において、発光波長 450 nm の青色 LED で 5 mW、外部量子効率 9.1%、520 nm の緑色 LED で 3 mW、外部量子効率 6.3% と非常に優れた特性を示す。

多重量子井戸構造は、複数のミニバンドからなる構造を有し、効率よく、小さな電流でも発光が実現することから、単一量子井戸構造より発光出力が高くなる等の素子特性の向上が期待される。

例えば、多重量子井戸構造の活性層を用いた LED 素子として、特開平 10-135514 号公報には、発光効率及び発光光度を良好とするため、少なくともアンドープの GaN からなるバリア層、アンドープの $InGa$ N からなる井戸層からなる多重量子井戸構造の発光層、更に発光層のバリア層よりも広いバンドギャップを持つクラッド層を有する窒化物半導体素子が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の素子を LED 素子として、照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等を使用するためには発光出力が十分満足できるものでない。このように多重量子井戸構造の活性層は、発光出力の飛躍的な向上が考えられるが、その予想される可能性を十分に発揮させ難い。

更にまた、窒化物半導体からなる素子は、その構造上、人体に生じる静電気より遥かに弱い 100 V の電圧でさえも劣化する可能性がある。例えば、帯電防止処理された袋等から取り出す際、また製品に応用する際等、劣化する危険性が考えられる。窒化物半導体素子の信頼性をより高めるには、このような劣化の危険性をなくすることが望まれる。

そこで、本発明の目的は、多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とする発光出力のさらなる向上、及び静電耐圧の向上する窒化物半導体発光

10

20

30

40

50

素子を提供することである。

【0004】

【課題を解決するための手段】

即ち、本発明は、下記(1)～(6)の構成により本発明の目的を達成したものである。

(1) 基板上に、 n 側窒化物半導体層、活性層及び p 側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a < 1$) 層を含む多重量子井戸構造であり、

前記 n 側窒化物半導体層が、

n 型不純物を含む n 側コンタクト層と、

n 型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされている同一組成を有する少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなる n 側第1多層膜層と、

In を含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなる n 側第2多層膜層と、を含み、

前記基板上にバッファ層を介して前記 n 側コンタクト層、前記 n 側第1多層膜層、前記 n 側第2多層膜層、前記活性層が順に具備されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記 p 側窒化物半導体層が、互いにバンドギャップエネルギーが異なりかつ p 型不純物濃度が異なる又は同一の第3と第4の窒化物半導体層が積層されてなる p 側多層膜クラッド層を含むことを特徴とする(1)記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記 p 側窒化物半導体層が、 p 型不純物を含み $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) よりなる p 側単一膜クラッド層を含むことを特徴とする(1)記載の窒化物半導体素子。

(4) 前記 n 側第1多層膜層と活性層との間に、 In を含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層された n 側第2多層膜層を有する(1)～(3)のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

(5) 前記 n 側コンタクト層が、アンドープ GaN 層の上に形成されてなることを特徴とする(1)に記載の窒化物半導体素子。

(6) 前記窒化物半導体素子において、前記アンドープ GaN 層が低温成長させた $\text{Ga}_d\text{Al}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d < 1$) からなるバッファ層上に形成され、更に前記 p 側多層膜クラッド層又は p 側単一膜クラッド層上に p 型不純物として Mg を含む p 側 GaN コンタクト層を形成してなる(5)に記載の窒化物半導体素子。

【0005】

つまり、本発明は、多重量子井戸構造の発光層を挟むように、 n 側に n 型不純物濃度の異なる2種類以上の窒化物半導体層からなる n 側第1多層膜層と、 p 側に第3及び第4の窒化物半導体層からなる p 側多層膜クラッド層又は p 型不純物を含み $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) よりなる p 側単一膜クラッド層とを組み合わせることで形成することにより、発光効率を向上させ発光出力の向上した、さらに静電耐圧の向上した窒化物半導体素子を得ることができる。

このように特定の組成や構造等を有する複数の窒化物半導体層を組み合わせることにより、多重量子井戸構造の活性層の性能を効率良く発揮することができる。また、多重量子井戸構造の活性層との組み合わせで好ましい他の窒化物半導体層を以下に記載する。

【0006】

本発明において、前記 n 側第1多層膜層と活性層との間に、 In を含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層された n 側第2多層膜層を有すると更に発光効率が向上すると共に、 V_f を低下させて発光効率を向上させることができ好ましい。

更に、本発明において、前記 n 側第1多層膜層より基板側に、 n 型不純物を含む n 側コンタクト層を有すると、発光出力を向上させ、 V_f を低下させるのに好ましい。

また更に、本発明において、前記 n 側コンタクト層が、アンドープ GaN 層の上に形成されてなると、かかるアンドープ GaN 層は結晶性の良い層として得られるので、 n 電極を形成する層となる n 側コンタクト層の結晶性が良くなり、 n 側コンタクト層上に形成され

10

20

30

40

50

る活性層などのその他の窒化物半導体層の結晶性も良くなり、発光出力を向上させるのに好ましい。

また更に、本発明において、前記アンドープGaN層が、低温成長させた $Ga_{1-d}Al_dN$ ($0 < d < 1$) からなるバッファ層上に形成されていると、アンドープGaN層の結晶性が更に良好となり、n側コンタクト層等の結晶性もより良好となり、発光出力の向上において好ましく、更にまた、p側多層膜クラッド層又はp側単一膜クラッド層上にMgドープp側GaNコンタクト層を形成してなると、p型特性を得やすくなると共に、かかるp側GaNコンタクト層がこの上に形成されるp電極と良好なオーミック接触を有し、発光出力を向上させるのに好ましい。

また更に、本発明において、前記アンドープGaN層、n側コンタクト層、及びn側第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu m$ 、好ましくは $3 \sim 10 \mu m$ 、より好ましくは $4 \sim 9 \mu m$ であると、静電耐圧の向上の点で好ましい。また上記範囲の膜厚であると静電耐圧以外の他の素子特性も良好である。また、上記3層の合計の膜厚は、各層の好ましい膜厚の範囲内で、3層の合計の膜厚が上記範囲となるように適宜調整される。

【0007】

【発明の実施の形態】

以下に本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の構造を示す窒化物半導体素子の模式的断面図である図1を用いて、本発明を詳細に説明する。

図1は、基板1上に、バッファ層2、アンドープGaN層3、n型不純物を含むn側コンタクト層4、n型不純物を含むn側第1多層膜5、第1及び第2の窒化物半導体層よりなるn側第2多層膜6、多重量子井戸構造の活性層7、第3及び第4の窒化物半導体層からなるp側多層膜クラッド層8又はp側単一膜クラッド層8、Mgドープp側GaNコンタクト層9が順に積層された構造を有する。更にn側コンタクト層4上にn電極11、p側GaNコンタクト層9上にp電極10がそれぞれ形成されている。

【0008】

本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル($MgAl_2O_4$)のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0009】

本発明において、バッファ層2としては、 $Ga_{1-d}Al_dN$ (但しdは $0 < d < 1$ の範囲である。) からなる窒化物半導体であり、好ましくはAlの割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGaNからなるバッファ層2が挙げられる。

バッファ層2の膜厚は、 $0.002 \sim 0.5 \mu m$ 、好ましくは $0.005 \sim 0.2 \mu m$ 、更に好ましくは $0.01 \sim 0.02 \mu m$ の範囲に調整する。バッファ層2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。

バッファ層2の成長温度は、 $200 \sim 900$ であり、好ましくは $400 \sim 800$ の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、この多結晶が種結晶としてバッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。

また、このような低温で成長させるバッファ層2は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0010】

次に、本発明において、アンドープGaN層3は、成長する際にn型不純物を添加せずに成長してなる層を示す。バッファ層2上にアンドープGaN層3を成長させるとアンドープGaN層3の結晶性が良好となり、アンドープGaN層3上に成長させるn側コンタクト層4などの結晶性も良好となる。アンドープGaN層3の膜厚としては、 $0.01 \mu m$ 以上であり、好ましくは $0.5 \mu m$ 以上であり、より好ましくは $1 \mu m$ 以上である。またアンドープGaN層3の膜厚の上限は特に限定されないが、製造効率等を考慮して適宜調整される。膜厚が上記範囲であると、n側コンタクト層4以降の層を結晶性良く成長でき

10

20

30

40

50

好ましい。更に、アンドープGaN層3の膜厚が上記範囲であると、n側コンタクト層4とn側第1多層膜層5との合計の膜厚を、前記範囲に調整し静電耐圧を向上させる点で好ましい。

【0011】

次に、本発明において、n型不純物を含むn側コンタクト層4は、n型不純物を $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で含有する。このようにn型不純物を多くドーピングし、この層をn側コンタクト層とすると、V_f及び閾値を低下させることができる。不純物濃度が上記範囲を逸脱するとV_fが低下しにくくなる傾向がある。また、n側コンタクト層4は、n型不純物濃度が小さい結晶性の良好なアンドープGaN層3上に形成されると、高濃度のn型不純物を有しているにも関わらず結晶性を良好に形成することができる。n側コンタクト層4のn型不純物濃度の上限は特に限定しないが、コンタクト層として結晶性が悪くなりすぎる限界としては $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。

10

【0012】

n側コンタクト層4の組成は、 $\text{In}_e\text{Al}_f\text{Ga}_{1-e-f}\text{N}$ ($0 \leq e, 0 \leq f, e+f \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、f値0.2以下の $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。n側コンタクト層4の膜厚は特に問うものではないが、n電極を形成する層であるので0.1~20 μm、好ましくは0.5~10 μm、より好ましくは1~5 μmである。膜厚が上記範囲であると抵抗値を低くでき、発光素子の順方向電圧を低くでき好ましい。更に、n側コンタクト層4の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層3及びn側第1多層膜層5との組み合わせにより、静電耐圧を向上させる点で好ましい。

20

また、n側コンタクト層4は、後述のn側第1多層膜層5を厚膜に形成する場合、省略することができる。

【0013】

次に、本発明において、n側第1多層膜層5は、n型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされているバンドギャップエネルギーが異なる又はn型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされている同一組成を有する少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなる多層膜からなる。n側第1多層膜5の膜厚は、2 μm以下であり、好ましくは1.5 μm以下であり、より好ましくは0.9 μm以下である。また下限は特に限定されないが、例えば0.05 μm以上である。膜厚がこの範囲であると、発光出力を向上させるのに好ましい。更に、n側第1多層膜層5の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層3とn側コンタクト層4との組み合わせにより、静電耐圧を向上させる点で好ましい。

30

上記多層膜層を構成する窒化物半導体層の互いの不純物濃度が異なることを変調ドーピングといい、この場合、一方の層が不純物をドーピングしない状態、つまりアンドープが好ましい。

【0014】

まず、以下にn側第1多層膜層5が、互いにバンドギャップエネルギーが異なる少なくとも2種類の窒化物半導体層を積層してなる多層膜である場合について説明する。

n側第1多層膜層5の多層膜層を構成するバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層及びバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層の膜厚は、100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10~40オングストロームの膜厚に調整する。100オングストロームよりも厚いと、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層及びバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層が弾性歪み限界以上の膜厚となり、膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすい傾向にある。バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層の膜厚の下限は特に限定せず、1原子層以上であればよいが、前記のように10オングストローム以上が最も好ましい。

40

【0015】

上記のようにn側第1多層膜5が、膜厚の薄い多層膜構造であると、その多層膜層を構成する窒化物半導体層の各膜厚を弾性臨界膜厚以下とすることができ、結晶欠陥の非常に少

50

ない窒化物半導体が成長できる。さらに、この多層膜層で基板からアンドープ GaN 層 3 や n 側コンタクト層 4 を通って発生している結晶欠陥をある程度止めることができ、多層膜層の上に成長させる n 側第 2 多層膜層 6 の結晶性を良くすることができる。さらに HEMT に類似した効果もある。

【0016】

バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層は、少なくとも Al を含む窒化物半導体、好ましくは $Al_g Ga_{1-g} N$ ($0 < g < 1$) を成長させる方が望ましい。一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体はバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体であればどのようなものでも良いが、好ましくは $Al_h Ga_{1-h} N$ ($0 < h < 1, g > h$)、 $In_j Ga_{1-j} N$ ($0 < j < 1$) のような 2 元混晶、3 元混晶の窒化物半導体が成長させやすく、また結晶性の良いものが得られやすい。その中でも特に好ましくはバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体は実質的に In を含まない $Al_g Ga_{1-g} N$ ($0 < g < 1$) とし、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体は実質的に Al を含まない $In_j Ga_{1-j} N$ ($0 < j < 1$) とし、中でも結晶性に優れた多層膜を得る目的で、Al 混晶比 (g 値) 0.3 以下の $Al_g Ga_{1-g} N$ ($0 < g < 0.3$) と、GaN の組み合わせが最も好ましい。

【0017】

また、n 側第 1 多層膜層 5 が、光閉じ込め層、及びキャリア閉じ込め層としてクラッド層を形成する場合、活性層の井戸層よりもバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体を成長させる必要がある。バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層とは、即ち Al 混晶比の高い窒化物半導体である。従来では Al 混晶比の高い窒化物半導体を厚膜で成長させると、クラックが入りやすくなるため、結晶成長が非常に難しかった。しかしながら本発明のように n 側第 1 多層膜層 5 を多層膜層にすると、多層膜層を構成する単一層を Al 混晶比の多少高い層としても、弾性臨界膜厚以下の膜厚で成長させているのでクラックが入りにくい。そのため、Al 混晶比の高い層を結晶性良く成長できることにより、光閉じ込め、キャリア閉じ込め効果が高くなり、レーザ素子では閾値電圧、LED 素子では V_f (順方向電圧) を低下させることができる。

【0018】

さらに、この n 側第 1 多層膜層 5 のバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層との n 型不純物濃度が異なることが好ましい。これはいわゆる変調ドーピングと呼ばれるもので、一方の層の n 型不純物濃度を小さく、好ましくは不純物をドーピングしない状態 (アンドープ) として、もう一方を高濃度にドーピングすると、閾値電圧、 V_f 等を低下させることができる。これは不純物濃度の低い層を多層膜層中に存在させることにより、その層の移動度が大きくなり、また不純物濃度が高濃度の層も同時に存在することにより、キャリア濃度が高いままで多層膜層が形成できることによる。つまり、不純物濃度が低い移動度の高い層と、不純物濃度が高いキャリア濃度が大きい層とが同時に存在することにより、キャリア濃度が大きく、移動度も大きい層がクラッド層となるために、閾値電圧、 V_f が低下すると推察される。

【0019】

バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層に n 型不純物を多くドーピングする場合、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層への好ましいドーピング量としては、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層との差が少なくなると、キャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ よりも多いと、素子自体のリーク電流が多くなりやすい傾向にある。一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層の n 型不純物濃度はバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1 / 10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体側から拡散してくる n 型不純物があり、その量は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。n 型不純物とし

10

20

30

40

50

てはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。この作用は、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層にn型不純物を少なくドーピングして、バンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングする場合も同様である。

以上、多層膜層に不純物を好ましく変調ドーピングする場合について述べたが、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層との不純物濃度を等しくすることもできる。

【0020】

さらにまたn側第1多層膜層の多層膜を構成する窒化物半導体層において、不純物が高濃度にドーピングされる層は、厚さ方向に対し、半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい（好ましくはアンドープ）とすることが望ましい。具体的に説明すると、例えばn型不純物としてSiをドーピングしたAlGaInと、アンドープのGaN層とで多層膜層を形成した場合、AlGaInはSiをドーピングしているのでドナーとして電子を伝導帯に出すが、電子はポテンシャルの低いGaNの伝導帯に落ちる。GaN結晶中にはドナー不純物をドーピングしていないので、不純物によるキャリアの散乱を受けない。そのため電子は容易にGaN結晶中を動くことができ、実質的な電子の移動度が高くなる。これは二次元電子ガスの効果と類似しており、電子横方向の実質的な移動度が高くなり、抵抗率が小さくなる。さらに、バンドギャップエネルギーの大きいAlGaInの中心領域にn型不純物を高濃度にドーピングすると効果はさらに大きくなる。即ちGaN中を移動する電子によっては、AlGaIn中に含まれるn型不純物イオン（この場合Si）の散乱を多少とも受ける。しかしAlGaIn層の厚さ方向に対して両端部をアンドープとするとSiの散乱を受けにくくなるので、さらにアンドープGaN層の移動度が向上するのである。

【0021】

次に、n側第1多層膜層5が、同一組成の窒化物半導体層が積層されてなり、n型不純物がそれら窒化物半導体層間で異なる濃度でドーピングされている場合について説明する。

まず、n側第1多層膜層5を構成する窒化物半導体としては、特に限定されず同一組成であればよいが、好ましくはGaNが挙げられる。n側第1多層膜層5がGaNで構成されていると、3元混晶より2元混晶のGaNであると結晶性良く成長でき、以降に成長させる窒化物半導体の結晶性も良好となり好ましい。

このような同一組成、例えばGaNのn側第1多層膜層5は、n型不純物を含む第1のGaN層と第1のGaN層のn型不純物濃度と異なる濃度の第2のGaN層、好ましくはどちらか一方がアンドープGaN層である少なくとも2種類以上の窒化物半導体からなる多層膜構造を有していることが好ましい。このように変調ドーピングされ多層膜構造を有していると、上記n側第1多層膜層5がバンドギャップエネルギーの異なり変調ドーピングされた少なくとも2種類の層から構成される場合と同様の作用が得られる。

n側不純物の濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $3 \times 10^{18} \sim 7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。また、この場合のn側第1多層膜層5の総膜厚は、特に限定されないが、1000～4000オングストローム、好ましくは2000～3000オングストロームである。また多層膜の各膜厚は500オングストローム以下、好ましくは200オングストローム以下、より好ましくは100オングストローム以下であり、膜厚の下限は特に限定されないが、1原子層以上であればよいが、100オングストローム以上が好ましい。上記のような膜厚であると、結晶性良く成長させることができ、発光出力を向上させるのに好ましい。

【0022】

また、以上説明した、バンドギャップエネルギーの異なる又は同一組成で更に不純物濃度の異なる2種類以上の層からなるn側第1多層膜層5は、n側コンタクト層を兼ねることができる。この場合、n側第1多層膜層5の膜厚は、0.5～4μm、好ましくは1～3μm、より好ましくは2～2.8μmである。この場合のn側第1多層膜層5の膜厚は、上記の少なくとも2種類以上の窒化物半導体層により調整される。この場合のn側第1多

10

20

30

40

50

層膜層 5 を構成する各膜厚は、上記範囲の薄膜層の多層膜層としてもよく、また全体としての膜厚が n 側コンタクト層を兼ねる場合の n 側第 1 多層膜層 5 の上記膜厚の範囲であれば各膜厚が上記範囲を超える 2 種類以上の窒化物半導体により調整してもよい。

【0023】

次に、本発明において、 n 側第 2 多層膜層 6 は、 In を含む第 1 の窒化物半導体層と、その第 1 の窒化物半導体層と異なる組成を有する第 2 の窒化物半導体層とが積層された n 側多層膜層からなり、前記第 1 の窒化物半導体層、または前記第 2 の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が 100 オングストローム以下である。好ましくは第 1 の窒化物半導体層および第 2 の窒化物半導体層の両方を 100 オングストローム以下、さらに好ましくは 70 オングストローム以下、最も好ましくは 50 オングストローム以下にする。このように膜厚を薄くすることにより、多層膜層が超格子構造となって、多層膜層の結晶性が良くなるので、出力が向上する傾向にある。

ここで、前記 n 側第 1 多層膜層と、上記 n 側第 2 多層膜層とを組み合わせると、発光出力が向上し、順方向電圧 (V_f) が低下し好ましい。この理由は定かではないが、 n 側第 2 多層膜層上に成長させる活性層の結晶性が良好となるためと考えられる。

【0024】

第 1 の窒化物半導体層は $In_kGa_{1-k}N$ ($0 < k < 1$) とし、第 2 の窒化物半導体層は $In_mGa_{1-m}N$ ($0 < m < 1$ 、 $m < k$)、好ましくは GaN とすることが最も好ましい。

【0025】

さらに、前記第 1 の窒化物半導体層または前記第 2 の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が、近接する第 1 の窒化物半導体層または第 2 の窒化物半導体層同士で互いに異なっても、同一でもよい。また、膜厚が近接する層同士で互いに異なることは、第 1 の窒化物半導体層または第 2 の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第 2 の窒化物半導体層 (第 1 の窒化物半導体層) を挟んだ第 1 の窒化物半導体層 (第 2 の窒化物半導体層) の膜厚が互いに異なることを意味する。

【0026】

さらにまた、前記第 1 の窒化物半導体層、または前記第 2 の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の III 族元素の組成が、近接する第 1 の窒化物半導体層または第 2 の窒化物半導体層の同一 III 族元素の組成同士で互いに異なることが好ましい。このことは、第 1 の窒化物半導体層または第 2 の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第 2 の窒化物半導体層 (第 1 の窒化物半導体層) を挟んだ第 1 の窒化物半導体層 (第 2 の窒化物半導体層) の III 族元素の組成比が互いに異なることを意味する。

【0027】

n 側第 2 多層膜層 6 は、活性層と離間して形成されていても良いが、最も好ましくは活性層に接して形成されているようにする。活性層に接して形成する方がより出力が向上しやすい傾向にある。

【0028】

また、 n 側第 2 多層膜層 6 の第 1 の窒化物半導体層および第 2 の窒化物半導体層がアンドープであることが好ましい。アンドープとは意図的に不純物をドーピングしない状態を指し、例えば隣接する窒化物半導体層から拡散により混入される不純物も本発明ではアンドープという。なお拡散により混入される不純物は層内において不純物濃度に勾配がついていることが多い。

【0029】

第 1 の窒化物半導体層または第 2 の窒化物半導体層のいずれか一方に、 n 型不純物がドーピングされていてもよい。これは変調ドーピングと呼ばれるもので、変調ドーピングすることにより、出力が向上しやすい傾向にある。なお n 型不純物としては、 Si 、 Ge 、 Sn 、 S 等の IV 族、VI 族元素を好ましく選択し、さらに好ましくは Si 、 Sn を用いる。

【0030】

また、第 1 の窒化物半導体層および第 2 の窒化物半導体層の両方に n 型不純物がドーピングされていてもよい。 n 型不純物をドーピングする場合、不純物濃度は $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下、好

10

20

30

40

50

ましくは $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。 $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、逆に出力が低下する傾向にある。これは変調ドーピングの場合も同様である。

【0031】

図1に示すように、活性層7を挟んで下部にあるn側窒化物半導体層に、Inを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されたn側第2多層膜層6を有している。n側第2多層膜層6において、第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層はそれぞれ少なくとも一層以上形成し、合計で2層以上、好ましくは3層以上、さらに好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し合計で4層以上積層することが望ましい。

10

n側第2多層膜層6が活性層に接して形成されている場合、活性層の最初の層（井戸層、若しくは障壁層）と接する多層膜層は第1の窒化物半導体層でも、第2の窒化物半導体層いずれでも良く、n側第2多層膜層6の積層順序は特に問うものではない。なお、図1ではn側第2多層膜層6が、活性層7に接して形成されているが、このn側第2多層膜層6と活性層との間に、他のn型窒化物半導体よりなる層を有していても良い。

このn側第2多層膜層を構成する第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層の少なくとも一方の膜厚を100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下とすることにより、薄膜層が弾性臨界膜厚以下となって結晶が良くなり、その上に積層する第1、若しくは第2の窒化物半導体層の結晶性が良くなり、多層膜層全体の結晶性が良くなるため、素子の出力が向上する。

20

【0032】

第1の窒化物半導体層はInを含む窒化物半導体、好ましくは3元混晶の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 1$) とし、さらに好ましくはk値が0.5以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ 、最も好ましくはk値が0.2以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ とする。一方、第2の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層と組成が異なる窒化物半導体であれば良く、特に限定しないが、結晶性の良い第2の窒化物半導体を成長させるためには、第1の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きい2元混晶あるいは3元混晶の窒化物半導体を成長させ、その中でもGaNとすると、全体に結晶性の良い多層膜層が成長できる。従って最も好ましい組み合わせとしては、第1の窒化物半導体層がk値が0.5以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ であり、第2の窒化物半導体層がGaNとの組み合わせである。

30

【0033】

第1および第2の窒化物半導体層の膜厚を100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下にする。単一窒化物半導体層の膜厚を100オングストローム以下とすることにより、窒化物半導体単一層の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長できる。また、両方を70オングストローム以下にすることによって、n側第2多層膜層6が超格子（多層膜）構造となり、この結晶性の良い多層膜構造の上に活性層を成長させると、n側第2多層膜層6がバッファ層のような作用をして、活性層が結晶性よく成長できる。

【0034】

40

さらにまた、第1、または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚を、近接する第1、または第2の窒化物半導体層同士で互いに異なるようにすることも好ましい。例えば第1の窒化物半導体層を InGaN とし、第2の窒化物半導体層をGaNとした場合、GaN層とGaN層との間の InGaN 層の膜厚を、活性層に接近するに従って次第に厚くしたり、また薄くしたりすることにより、多層膜層内部において屈折率が変化するため、実質的に屈折率が次第に変化する層を形成することができる。即ち、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成するのと同じ効果が得られる。このため例えばレーザ素子のような光導波路を必要とする素子においては、この多層膜層で導波路を形成して、レーザ光のモードを調整できる。

【0035】

50

また、第1、または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成を、近接する第1または第2の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なる、又は同一でもよい。例えば、同一III族元素の組成同士で互いに異ならせると、第1の窒化物半導体層をInGa_aNとし、第2の窒化物半導体層をGa_aNとした場合、Ga_aN層とGa_aN層との間のInGa_aN層のIn組成を活性層に接近するに従って次第に多くしたり、また少なくしたりすることにより、前述の態様と同じく、多層膜層内部において屈折率を変化させて、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成することができる。なおIn組成が減少するに従い、屈折率は小さくなる傾向にある。

【0036】

第1および第2の窒化物半導体層は両方ともアンドープでも良いし、両方にn型不純物がドーピングされていても良いし、またいずれか一方に不純物がドーピングされていてもよい。結晶性を良くするためには、アンドープが最も好ましく、次に変調ドーピング、その次に両方ドーピングの順である。なお両方にn型不純物をドーピングする場合、第1の窒化物半導体層のn型不純物濃度と、第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度は異なってもよい。

【0037】

本発明において、多重量子井戸構造の活性層7は、In及びGaを含有する窒化物半導体、好ましくは、In_aGa_{1-a}N (0 < a < 1) で形成され、n型、p型いずれでもよいが、アンドープ(不純物無添加)とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり好ましい。活性層7にn型不純物及び/又はp型不純物をドーピングしてもよい。活性層7にn型不純物をドーピングするとアンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層7にp型不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5 eV低いエネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広くなる。活性層にp型不純物とn型不純物との双方をドーピングすると、前述したp型不純物のみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電型はSi等のn型ドーパントをもドーピングして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させるには、ノンドープが最も好ましい。

【0038】

活性層7の障壁層と井戸層との積層順は、特に問わず、井戸層から積層して井戸層で終わる、井戸層から積層して障壁層で終わる、障壁層から積層して障壁層で終わる、また障壁層から積層して井戸層で終わってもよい。井戸層の膜厚としては100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下に調整する。井戸層の膜厚の上限は、特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上である。井戸層が100オングストロームよりも厚いと、出力が向上しにくい傾向にある。

一方、障壁層の厚さは2000オングストローム以下、好ましくは500オングストローム以下、より好ましくは300オングストローム以下に調整する。障壁層の膜厚の上限は特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上である。障壁層が上記範囲であると出力が向上し易く好ましい。また、活性層7全体の膜厚はとくに限定されず、LED素子などの希望の波長等を考慮して、障壁層及び井戸層の各積層数や積層順を調整し活性層7の総膜厚を調整する。

【0039】

本発明において、p側クラッド層8は、バンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層とが積層されて、互いのp型不純物濃度が異なる、又は同一の多層膜層、またはp型不純物を含有するAl_bGa_{1-b}N (0 < b < 1) からなる単一層である。

まず、p側クラッド層8が多層膜構造(超格子構造)を有するp側多層膜クラッド層の場合について以下に説明する。

p側多層膜クラッド層17の多層膜層を構成する第3、第4の窒化物半導体層の膜厚は、100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好まし

10

20

30

40

50

くは $10 \sim 40$ オングストロームの膜厚に調整され、第3室化物半導体層と第4の室化物半導体層との膜厚は、同一でも異なってもよい。多層膜構造の各膜厚が上記範囲であると、室化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い室化物半導体が成長でき、また室化物半導体層の結晶性が良くなるので、p型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さいp層が得られ、素子のVf、しきい値が低下し易い傾向にある。このような膜厚の2種類の層を1ペアとして複数回積層して多層膜層を形成する。そして、p側多層膜クラッド層8の総膜厚の調整は、この第3及び第4の室化物半導体層の各膜厚を調整し積層回数を調整することにより行う。p側多層膜クラッド層8の総膜厚は、特に限定されないが、 2000 オングストローム以下、好ましくは 1000 オングストローム以下、より好ましくは 500 オングストローム以下であり、総膜厚がこの範囲であると発光出力が高く、順方向電圧(Vf)が低下し好ましい。

10

第3の室化物半導体層は少なくともAlを含む室化物半導体、好ましくは $Al_nGa_{1-n}N$ ($0 < n < 1$) を成長させることが望ましく、第4の室化物半導体は好ましくは $Al_pGa_{1-p}N$ ($0 < p < 1$ 、 $n > p$)、 $In_rGa_{1-r}N$ ($0 < r < 1$) のような2元混晶、3元混晶の室化物半導体を成長させることが望ましい。

p側クラッド層8を超格子構造とすると、結晶性が良くなり、抵抗率が低下しVfが低下する傾向がある。

【0040】

p側多層膜クラッド層8のp型不純物濃度において、第3の室化物半導体層と第4の室化物半導体層とのp型不純物濃度が異なる場合について以下に示す。

20

p側多層膜クラッド層8の第3の室化物半導体層と第4の室化物半導体層とのp型不純物濃度は異なり、一方の層の不純物濃度を大きく、もう一方の層の不純物濃度を小さくする。n側クラッド層12と同様に、バンドギャップエネルギーの大きな第3の室化物半導体層の方のp型不純物濃度を大きくして、バンドギャップエネルギーの小さな第4の室化物半導体層のp型不純物濃度を小さく、好ましくはアンドープとすると、閾値電圧、Vf等を低下させることができる。またその逆でも良い。つまりバンドギャップエネルギーの大きな第3の室化物半導体層のp型不純物濃度を小さくして、バンドギャップエネルギーの小さな第4の室化物半導体層のp型不純物濃度を大きくしても良い。

【0041】

30

第3の室化物半導体層への好ましいドーブ量としては $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、同様に第4の室化物半導体層との差が少なくなると、同様にキャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも多いと、結晶性が悪くなる傾向にある。一方、第4の室化物半導体層のp型不純物濃度は第3の室化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1/10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、第3の室化物半導体側から拡散してくるp型不純物があり、その量は $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。また、バンドギャップエネルギーが大きい第3の室化物半導体層にp型不純物を少なくドーブして、バンドギャップエネルギーが小さい第4の室化物半導体層にp型不純物を多くドーブする場合も同様である。

40

p型不純物としてはMg、Zn、Ca、Be等の周期律表第IIA族、IIB族元素を選択し、好ましくはMg、Ca等をp型不純物とする。

【0042】

さらにまた多層膜を構成する室化物半導体層において、不純物が高濃度にドーブされる層は、厚さ方向に対し、半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい(好ましくはアンドープ)とすることが、抵抗率を低下させるのに望ましい。

【0043】

またp側多層膜クラッド層8の第3の室化物半導体層と第4の室化物半導体層のp型不純物濃度が同一の場合は、上記第3と第4の室化物半導体層のp型不純物濃度が異なる場合

50

の第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度の範囲内で不純物濃度が調整される。このようにp型不純物濃度が同一であると、上記不純物濃度が異なる場合に比べて、やや結晶性の劣る傾向があるが、キャリア濃度の高いp型クラッド層8を形成し易くなり、出力向上の点で好ましい。

【0044】

次に、p側クラッド層8が、p型不純物を含み $Al_bGa_{1-b}N(0 < b < 1)$ よりなる単一層からなる場合、p側単一膜クラッド層8の膜厚は、2000オングストローム以下、好ましくは1000オングストローム以下であり、より好ましくは500～1000オングストローム以下である。膜厚が上記範囲であると、発光出力が向上し、Vfが低下し好ましい。p側単一膜クラッド層8の組成は、 $Al_bGa_{1-b}N(0 < b < 1)$ である。

また、単一膜層のクラッド層は、前記多層膜構造のp側クラッド層に比べ、結晶性はやや劣るものの、前記第1の多層膜層4との組み合わせにより、結晶性良く成長させることができ、しきい値やVfの低下が可能となる。更に、このように単一膜としてもその他の層構成と組み合わせることにより素子の性能の低下を少なくし、しかも単一膜であるので、製造工程の簡易化が可能となり、量産する場合に好ましい。

p側単一膜クラッド層8のp型不純物の濃度は $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。不純物濃度が上記範囲であると、良好なp型膜ができ好ましい。

【0045】

次に、本発明において、Mgドープp側GaNコンタクト層9は、その組成をIn、Alを含まない二元混晶の窒化物半導体とする。仮にIn、Alを含有していると、p電極10とオーミック接触が得られなくなり、発光効率が低下する。p側コンタクト層9の膜厚は $0.001 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0.01 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.05 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である。膜厚が $0.001 \mu\text{m}$ よりも薄いとp型GaAlNクラッド層と電氣的に短絡しやすくなり、コンタクト層として作用しにくい。また、三元混晶のGaAlNクラッド層の上に、組成の異なる二元混晶のGaNコンタクト層を積層するため、逆にその膜厚を $0.5 \mu\text{m}$ よりも厚くすると、結晶間のミスフィットによる格子欠陥がp側GaNコンタクト層9中に発生しやすくなり、結晶性が低下する傾向にある。なお、コンタクト層の膜厚は薄いほどVfを低下させ発光効率を向上させることができる。また、このp型GaNコンタクト層9のp型不純物はMgであるとp型特性が得られ易く、またオーミック接触が得られ易くなる。Mgの濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度である。Mg濃度がこの範囲であると良好なp型膜が得られ易く、Vfが低下し好ましい。

【0046】

また、n電極11はn側コンタクト層4上に、p電極はMgドープp側GaNコンタクト層9上にそれぞれ形成されている。n電極及びp電極の材料としては特に限定されず、例えばn電極としてはW/Al、p電極としてはNi/Auなどを用いることができる。

【0047】

【実施例】

以下に本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

【実施例1】

図1を元に実施例1について説明する。

サファイア(C面)よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0048】

(バッファ層2)

続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0049】

(アンドープ GaN 層 3)

バッファ層 2 成長後、TMG のみ止めて、温度を 1050 まで上昇させる。1050 になったら、同じく原料ガスに TMG、アンモニアガスを用い、アンドープ GaN 層 3 を 1.5 μm の膜厚で成長させる。

【0050】

(n 側コンタクト層 4)

続いて 1050 で、同じく原料ガスに TMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Si を $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした GaN よりなる n 側コンタクト層 4 を 2.25 μm の膜厚で成長させる。

【0051】

(n 側第 1 多層膜層 5)

次にシランガスのみを止め、1050 で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープ GaN 層を 75 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加し Si を $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした GaN 層を 25 オングストロームの膜厚で成長させる。このようにして、75 オングストロームのアンドープ GaN 層からなる A 層と、Si ドープ GaN 層を有する 25 オングストロームの B 層とからなるペアを成長させる。そしてペアを 25 層積層して 2500 オングストローム厚として、超格子構造の多層膜よりなる n 側第 1 多層膜層 5 を成長させる。

【0052】

(n 側第 2 多層膜層 6)

次に、同様の温度で、アンドープ GaN よりなる第 2 の窒化物半導体層を 40 オングストローム成長させ、次に温度を 800 にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ よりなる第 1 の窒化物半導体層を 20 オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第 2 + 第 1 の順で交互に 10 層ずつ積層させ、最後に GaN よりなる第 2 の窒化物半導体層を 40 オングストローム成長させた超格子構造の多層膜よりなる n 側第 2 多層膜層 6 を 640 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0053】

(活性層 7)

次に、アンドープ GaN よりなる障壁層を 200 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800 にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁 + 井戸 + 障壁 + 井戸 + ... + 障壁の順で障壁層を 5 層、井戸層を 4 層、交互に積層して、総膜厚 1120 オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層 7 を成長させる。

【0054】

(p 側多層膜クラッド層 8)

次に、温度 1050 で TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第 3 の窒化物半導体層を 40 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800 にして、TMG、TMI、アンモニア、Cp2Mg を用い Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第 4 の窒化物半導体層を 25 オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第 3 + 第 4 の順で交互に 5 層ずつ積層し、最後に第 3 の窒化物半導体層を 40 オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなる p 側多層膜クラッド層 8 を 365 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0055】

(p 側 GaN コンタクト層 9)

続いて 1050 で、TMG、アンモニア、Cp2Mg を用い、Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN よりなる p 側コンタクト層 9 を 700 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0056】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において

10

20

30

40

50

、700 でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0057】

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn側コンタクト層4の表面を露出させる。

【0058】

エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極10と、そのp電極10の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極11を0.5μmの膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させたn側コンタクト層4の表面にはWとAlを含むn電極12を形成してLED素子とした。

【0059】

このLED素子は順方向電流20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、Vfは3.5Vで、従来の多重量子井戸構造のLED素子に比較して、Vfで1.0V近く低下し、出力は2.0倍以上に向上した。そのため、10mAで従来のLED素子とほぼ同等の特性を有するLEDが得られた。更に静電耐圧は従来の1.3倍以上となり良好である。

【0060】

なお、従来のLED素子の構成は、GaNよりなる第1のバッファ層の上に、アンドープGaNよりなる第2のバッファ層、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層、実施例1と同一の多重量子井戸構造よりなる活性層、単一のMgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}N層、MgドープGaNからなるp側コンタクト層を順に積層したものである。

【0061】

[実施例2]

実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)

次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0062】

[実施例3]

実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)

次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を6層、井戸層を5層、交互に積層して、総膜厚1650オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0063】

[実施例4]

実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した

10

20

30

40

50

。

(活性層 7)

次に、アンドープ GaN よりなる障壁層を 250 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800 にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁 + 井戸 + 障壁 + 井戸 + 障壁の順で障壁層を 7 層、井戸層を 6 層、交互に積層して、総膜厚 1930 オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層 7 を成長させる。

得られた LED 素子は、順方向電流 20 mA において、500 nm の青緑色発光を示し、実施例 1 と同様に良好な結果が得られる。

【0064】

10

[実施例 5]

実施例 1 において、活性層 7 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

(活性層 7)

次に、アンドープ GaN よりなる障壁層を 250 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800 にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁 + 井戸 + 障壁 + 井戸 + 障壁の順で障壁層を 4 層、井戸層を 3 層、交互に積層して、総膜厚 1090 オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層 7 を成長させる。

得られた LED 素子は、順方向電流 20 mA において、500 nm の青緑色発光を示し、実施例 1 と同様に良好な結果が得られる。

20

【0065】

[実施例 6]

実施例 1 において、n 側第 2 多層膜層 6 を成長させない他は同様にして LED 素子を作製した。

得られた LED 素子は、実施例 1 に比べやや素子特性及び発光出力が低いものの従来の LED 素子と比較すると良好な発光出力を有している。

【0066】

[実施例 7]

実施例 1 において、p 側多層膜クラッド層 8 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

30

(p 側単一膜クラッド層 8)

温度 1050 で TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ よりなる p 側単一膜クラッド層 8 を 300 オングストロームの膜厚で成長させる。

得られた LED 素子は、クラッド層を超格子とせず単一の層として成長させているが、その他の層構成との組み合わせにより、実施例 1 よりやや性能が劣るもののほぼ同様に良好な結果が得られる。また、単一層とすると、多層膜層にする場合に比べ製造工程が簡易化でき好ましい。

【0067】

40

[実施例 8]

実施例 1 において、n 側第 1 多層膜層 5 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

(n 側第 1 多層膜層 5)

アンドープ GaN 層よりなる A 層を 100 オングストロームの膜厚で成長させ、Si を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる B 層を 25 オングストロームの膜厚で成長させてなる A 層と B 層の 1 ペアを 20 層積層して 2500 オングストローム厚として n 側第 1 多層膜層 5 を成長させる。

得られた LED 素子は、実施例 1 とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0068】

50

[実施例 9]

実施例 1 において、 n 側コンタクト層 4 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

(n 側コンタクト層 4)

1050 で、原料ガスに TMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Si を $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした GaN よりなる n 側コンタクト層 4 を 6 μm の膜厚で成長させる。

得られた LED 素子は、実施例 1 とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【 0069 】

[実施例 10]

実施例 1 において、 n 側コンタクト層 4 の膜厚を 4.25 μm 、5.25 μm 、7.25 μm とする他は同様にして、3 種の LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 1 とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られ、また、膜厚が 4.25 μm 及び 5.25 μm の場合は、静電耐圧等がやや実施例 1 より良好となる。

【 0070 】

[実施例 11]

実施例 1 において、 n 側第 2 多層膜層 6 をアンドープ GaN よりなる第 2 の窒化物半導体層と、Si を $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ よりなる第 1 の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 1 とほぼ同等の特性を示す。

【 0071 】

[実施例 12]

実施例 1 において、 p 側多層膜クラッド層 8 を Mg を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第 3 の窒化物半導体層と、アンドープの $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第 4 の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 1 とほぼ同等の特性を示す。

【 0072 】

[実施例 13]

実施例 1 において、 p 側多層膜クラッド層 8 をアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第 3 の窒化物半導体層と、Mg を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第 4 の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 1 とほぼ同等の特性を示す。

【 0073 】

【 発明の効果 】

本発明の窒化物半導体素子は、多重量子井戸構造の活性層と、以上のような特定の層構成とを組み合わせることにより、多重量子井戸構造の活性層の可能性を良好に発揮させることができ、発光出力の向上及び静電耐圧の向上を可能にすることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の一実施の形態である LED 素子の構造を示す模式断面図である。

【 符号の説明 】

- 1・・・サファイア基板、
- 2・・・バッファ層、
- 3・・・アンドープ GaN 層、
- 4・・・ n 側コンタクト層、
- 5・・・ n 側第 1 多層膜層、
- 6・・・ n 側第 2 多層膜層、
- 7・・・活性層、
- 8・・・ p 側クラッド層、

10

20

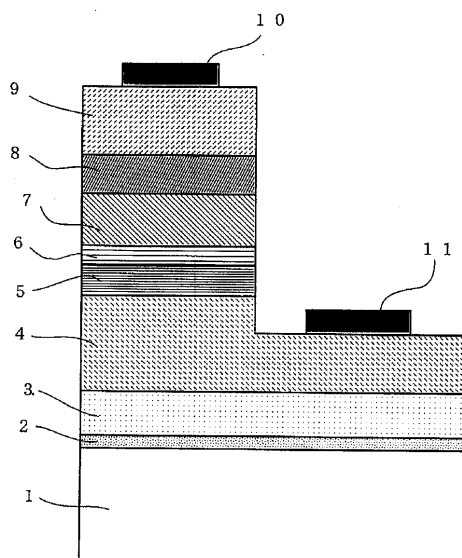
30

40

50

9 . . . M g ドープ p 側 G a N コンタクト層、
1 0 . . . p 電極、
1 1 . . . n 電極。

【図 1】



フロントページの続き

(72)発明者 丸居 宏充
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 田部 元史

審判官 吉野 公夫

(56)参考文献 特開平09-232629(JP,A)
特開平5-082834(JP,A)
特開平8-051251(JP,A)
特開平4-068579(JP,A)
特開平10-135575(JP,A)
特開平10-223983(JP,A)
特開平08-250810(JP,A)
特開平9-139543(JP,A)
特開平10-242512(JP,A)
特開平8-18168(JP,A)
IEEE Journal of Selected Topics in Quantum
Electronics Vol.4, No.3 p.483-489(1998,5/6)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50

H01L 33/00