

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5426007号  
(P5426007)

(45) 発行日 平成26年2月26日 (2014. 2. 26)

(24) 登録日 平成25年12月6日 (2013.12.6)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205
C 2 3 C 16/34 (2006.01)	C 2 3 C 16/34

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-500641 (P2012-500641)	(73) 特許権者	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
(86) (22) 出願日	平成23年2月17日 (2011. 2. 17)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/053358	(72) 発明者	筆田 麻祐子 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内
(87) 国際公開番号	W02011/102411	(72) 発明者	山田 英司 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内
(87) 国際公開日	平成23年8月25日 (2011. 8. 25)	審査官	瀬川 勝久
審査請求日	平成24年8月2日 (2012. 8. 2)		
(31) 優先権主張番号	特願2010-34919 (P2010-34919)		
(32) 優先日	平成22年2月19日 (2010. 2. 19)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子および窒化物半導体発光素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

n型窒化物半導体層と、  
前記n型窒化物半導体層上に設けられた窒化物半導体活性層と、  
前記窒化物半導体活性層上に設けられたp型窒化物半導体層と、を備え、  
前記p型窒化物半導体層は、前記窒化物半導体活性層側から、第1のp型窒化物半導体層と、第2のp型窒化物半導体層と、第3のp型窒化物半導体層と、をこの順序で含み、  
前記第1のp型窒化物半導体層および前記第2のp型窒化物半導体層はそれぞれA1を含んでおり、  
前記第1のp型窒化物半導体層の平均A1組成と、前記第2のp型窒化物半導体層の平均A1組成とは同等であり、  
前記第3のp型窒化物半導体層は、前記第2のp型窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、  
前記第2のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度および前記第3のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度は、それぞれ、前記第1のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度よりも低い、窒化物半導体発光素子。

【請求項2】

前記p型窒化物半導体層は、前記第3のp型窒化物半導体層の前記窒化物半導体活性層の設置側とは反対側に第4のp型窒化物半導体層をさらに含み、  
前記第4のp型窒化物半導体層は、前記第2のp型窒化物半導体層よりもバンドギャッ

10

20

ブが小さく、

前記第4のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度は、前記第3のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度よりも高い、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】

前記窒化物半導体活性層は、複数の窒化物半導体量子井戸層と、複数の窒化物半導体障壁層と、を含む多重量子井戸構造を有しており、

前記複数の窒化物半導体障壁層のうち、前記p型窒化物半導体層に接する窒化物半導体障壁層以外の窒化物半導体障壁層は、n型不純物を含む、請求項1または2に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】

前記n型窒化物半導体層は、n型窒化物半導体コンタクト層と、n型窒化物半導体超格子層と、を含み、

前記n型窒化物半導体超格子層は、前記n型窒化物半導体コンタクト層と、前記窒化物半導体活性層との間に位置して、

前記n型窒化物半導体超格子層の平均n型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上である、請求項1から3のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】

n型窒化物半導体層上に窒化物半導体活性層を気相成長させる工程と、

前記窒化物半導体活性層上にAlを含む第1のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程と、

前記第1のp型窒化物半導体層上に前記第1のp型窒化物半導体層と平均Al組成が同等であるAlを含む第2のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程と、

前記第2のp型窒化物半導体層上に前記第1のp型窒化物半導体層よりも平均Al組成が小さい第3のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程と、を含み、

前記第2のp型窒化物半導体層および前記第3のp型窒化物半導体層はそれぞれ、前記第1のp型窒化物半導体層よりも低濃度にp型不純物がドーピングされる、窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項6】

前記第2のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程の後であって、前記第3のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程の前に、気相成長が中断される、請求項5に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項7】

前記気相成長の中断時に、気相の圧力を変化させる、請求項6に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項8】

前記第3のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程の後に、前記第3のp型窒化物半導体層上に前記第3のp型窒化物半導体層よりも高濃度にp型不純物をドーピングした第4の窒化物半導体層を気相成長させる工程をさらに含む、請求項5から7のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項9】

前記窒化物半導体活性層と前記第1のp型窒化物半導体層との間にAlを含む窒化物半導体層をさらに含む、請求項1から4のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体発光素子および窒化物半導体発光素子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

AlGaInN系の窒化物半導体を用いて作製された窒化物半導体発光素子は、青色などの短波長の光を高効率に発光することができるため、蛍光体と組み合わせることにより

10

20

30

40

50

白色光を発光する発光装置を得ることができる。白色光を発光する発光装置としては、蛍光灯の発光効率を凌駕する発光装置が得られるようになってきていることから、このような発光装置は今後の照明の主役になると考えられている。

【0003】

その一方で、このような窒化物半導体発光素子を用いて白色光を発光させる発光装置については、さらなる発光効率の改善と、それによる省エネルギー化の進展とが期待されている。

【0004】

窒化物半導体発光素子の発光原理は、ホールと電子との再結合であるため、p型窒化物半導体層およびn型窒化物半導体層を適切に作製することが重要である。しかしながら、窒化物半導体発光素子の製造過程においては、p型窒化物半導体層にドーパされるMgなどのp型不純物の分布を乱す様々な熱処理工程がある。

10

【0005】

第1に、p型窒化物半導体層を形成するエピタキシャル成長工程自体があり、一般に1000を超える高温で行なわれる。また、第2に、p型窒化物半導体層のp型化を促進するためのアニール工程がある。さらに、第3に、電極形成後における、電極と窒化物半導体とのコンタクト性および電極自身の特性改善のための熱処理工程がある。

【0006】

これらの熱処理工程における熱履歴により、p型窒化物半導体層のエピタキシャル成長中のp型不純物のドーピング量と、そのp型不純物のドーピングにより得られるp型窒化物半導体層のドーピングプロファイルとの間に違いが生じる。

20

【0007】

このような問題を解消して、窒化物半導体発光素子の特性を向上させるための様々な技術開発が行なわれている。

【0008】

たとえば特許文献1(特開2009-130097号公報)には、活性領域上にMgドーパp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ ブロッキング層と、Mgドーパp型GaN層との積層構成とする技術が開示されている。

【0009】

また、たとえば特許文献2(特開2000-164922号公報)には、p型コンタクト層の正電極に接する最表面部分のMg不純物濃度を高め、正電極とのコンタクト性を高める技術が開示されている。

30

【0010】

さらに、特許文献3(特開2001-148507号公報)においては、活性層上のp型窒化物半導体層を、p型不純物を高濃度にドーパしたp型クラッド層、p型不純物を低濃度にドーパしたp型低濃度ドーパ層、p型不純物を高濃度にドーパしたp型コンタクト層をこの順に3層積層した構造とする技術が開示されている。

【0011】

特許文献3の実施例7には、中濃度ドーパのp型層としてMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーパしたp型 $Al_{0.16}Ga_{0.84}N$ からなるp型クラッド層を形成し、低濃度ドーパのp型層としてはアンドーパのGaNよりなる低濃度ドーパ層を形成し、高濃度ドーパのp型層としてはMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーパした高濃度ドーパ層を形成する技術が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2009-130097号公報

【特許文献2】特開2000-164922号公報

【特許文献3】特開2001-148507号公報

【発明の概要】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0013】

しかしながら、近年の環境問題への意識の高まりから、窒化物半導体発光素子の特性のさらなる向上が求められている。

## 【0014】

上記の事情に鑑みて、本発明の目的は、特性に優れた窒化物半導体発光素子および窒化物半導体発光素子の製造方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0015】

本発明は、n型窒化物半導体層と、n型窒化物半導体層上に設けられた窒化物半導体活性層と、窒化物半導体活性層上に設けられたp型窒化物半導体層と、を備え、p型窒化物半導体層は、窒化物半導体活性層側から、第1のp型窒化物半導体層と、第2のp型窒化物半導体層と、第3のp型窒化物半導体層と、をこの順序で含み、第1のp型窒化物半導体層および第2のp型窒化物半導体層はそれぞれAl（アルミニウム）を含んでおり、第1のp型窒化物半導体層の平均Al組成と、第2のp型窒化物半導体層の平均Al組成とは同等であり、第3のp型窒化物半導体層は、第2のp型窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、第2のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度および第3のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度は、それぞれ、第1のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度よりも低い、窒化物半導体発光素子である。

## 【0016】

ここで、本発明の窒化物半導体発光素子において、p型窒化物半導体層は、第3のp型窒化物半導体層の窒化物半導体活性層の設置側とは反対側に第4のp型窒化物半導体層をさらに含み、第4のp型窒化物半導体層は、第2のp型窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、第4のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度は、第3のp型窒化物半導体層のp型不純物濃度よりも高いことが好ましい。

## 【0017】

また、本発明の窒化物半導体発光素子において、窒化物半導体活性層は、複数の窒化物半導体量子井戸層と、複数の窒化物半導体障壁層と、を含む多重量子井戸構造を有しており、複数の窒化物半導体障壁層のうち、p型窒化物半導体層に接する窒化物半導体障壁層以外の窒化物半導体障壁層はn型不純物を含むことが好ましい。

## 【0018】

また、本発明の窒化物半導体発光素子において、n型窒化物半導体層は、n型窒化物半導体コンタクト層と、n型窒化物半導体超格子層と、を含み、n型窒化物半導体超格子層は、n型窒化物半導体コンタクト層と、窒化物半導体活性層との間に位置して、n型窒化物半導体超格子層の平均n型不純物濃度は $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であることが好ましい。

## 【0019】

さらに、本発明は、n型窒化物半導体層上に窒化物半導体活性層を気相成長させる工程と、窒化物半導体活性層上に第1のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程と、第1のp型窒化物半導体層上に第1のp型窒化物半導体層と平均Al組成が同等である第2のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程と、第2のp型窒化物半導体層上に第1のp型窒化物半導体層よりも平均Al組成が小さい第3のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程と、を含み、第2のp型窒化物半導体層および第3のp型窒化物半導体層はそれぞれ、第1のp型窒化物半導体層よりも低濃度にp型不純物がドーピングされる窒化物半導体発光素子の製造方法である。

## 【0020】

ここで、本発明の窒化物半導体発光素子の製造方法においては、第2のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程の後であって、第3のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程の前に、気相成長が中断されることが好ましい。

## 【0021】

また、本発明の窒化物半導体発光素子の製造方法においては、気相成長の中断時に、気相の圧力を変化させることが好ましい。

【0022】

また、本発明の窒化物半導体発光素子の製造方法は、第3のp型窒化物半導体層を気相成長させる工程の後に、第3のp型窒化物半導体層上に第3のp型窒化物半導体層よりもp型不純物を高濃度にドーピングした第4の窒化物半導体層を気相成長させる工程をさらに含むことが好ましい。

【0023】

また、本発明の窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体活性層と第1のp型窒化物半導体層との間にAlを含む窒化物半導体層をさらに含んでいることが好ましい。

10

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、特性に優れた窒化物半導体発光素子および窒化物半導体発光素子の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】実施の形態の窒化物半導体発光素子の模式的な断面図である。

【図2】実施の形態の窒化物半導体発光素子の模式的な上面図である。

【図3】実施例および比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子の原子濃度プロファイルを示す図である。

20

【図4】実施例4の窒化物半導体発光ダイオード素子の模式的な断面図である。

【図5】実施例4の窒化物半導体発光ダイオード素子の模式的な上面図である。

【図6】実施例4の窒化物半導体発光ダイオード素子および実施例1と同様の製造方法で作製した窒化物半導体発光ダイオード素子の原子濃度プロファイルを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、本発明の実施の形態について説明する。なお、本発明の図面において、同一の参照符号は、同一部分または相当部分を表わすものとする。

【0027】

図1に、本実施の形態の窒化物半導体発光素子の模式的な断面図を示す。図1に示すように、本実施の形態の窒化物半導体発光素子100においては、表面に凹凸加工が施されたサファイア基板101上に、AlNからなる窒化物半導体バッファ層102、アンドロップGaNからなる窒化物半導体中間層103およびn型GaNからなるn型窒化物半導体下地層104がこの順に積層されている。

30

【0028】

本明細書においては、サファイア基板101、窒化物半導体バッファ層102、窒化物半導体中間層103およびn型窒化物半導体下地層104の積層体をテンプレート基板とする。なお、テンプレート基板以外にも、たとえば、窒化物半導体とは異なる基板に窒化物半導体層を形成した基板、または窒化物半導体から成る基板などを用いることもできる。

40

【0029】

また、テンプレート基板のn型窒化物半導体下地層104上には、n型GaNからなるn型窒化物半導体コンタクト層105およびn型GaN層とn型InGaN層とが交互に積層されたn型窒化物半導体超格子層106がこの順に積層されている。

【0030】

n型窒化物半導体コンタクト層105は、n型GaNからなる層に限定されず、たとえば、 $Al_{x_1}Ga_{y_1}In_{z_1}N$  ( $0 < x_1 < 1$ 、 $0 < y_1 < 1$ 、 $0 < z_1 < 1$ 、 $x_1 + y_1 + z_1 = 0$ ) の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層にn型不純物をドーピングした層などを積層することができる。

【0031】

50

n型窒化物半導体コンタクト層105としては、なかでも、 $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$  ( $0 < x_2 < 1$ 、好ましくは $0 < x_2 < 0.5$ 、より好ましくは $0 < x_2 < 0.1$ )の式で表わされるIII族窒化物半導体にn型不純物としてシリコンがドーピングされた窒化物半導体層を用いることが好ましい。この場合には、n型窒化物半導体コンタクト層105の良好な結晶性を確保しつつ、n型不純物のドーピング濃度を高くすることができる傾向にある。

#### 【0032】

n型窒化物半導体コンタクト層105へのn型不純物のドーピング濃度は、 $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とすることが好ましい。n型窒化物半導体コンタクト層105へのn型不純物のドーピング濃度が $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である場合には、後述するn側パッド電極117との良好なオーミック接触を確保することができる傾向にあるとともに、n型窒化物半導体コンタクト層105におけるクラックの発生を抑制できる傾向にあり、さらにはn型窒化物半導体コンタクト層105の良好な結晶性を確保することができる傾向にもある。

#### 【0033】

アンドープGaNからなる窒化物半導体中間層103、n型GaNからなるn型窒化物半導体下地層104およびn型GaNからなるn型窒化物半導体コンタクト層105の厚さの合計は、これらの層の良好な結晶性を確保する観点から、 $4 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $4 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $6 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。これらの層の厚さの合計が $4 \mu\text{m}$ 未満である場合にはこれらの層の結晶性が悪化したり、これらの層の表面にピットが生じるおそれがある。また、これらの層の厚さの合計が $20 \mu\text{m}$ を超える場合には、サファイア基板101の反りが大きくなって、製造プロセスにおいて様々な問題が発生するおそれがある。また、これらの層の厚さの合計が $4 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下である場合、特に $6 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下である場合には、これらの層の結晶性を良好なものとすることができる傾向にある。なお、これらの層の厚さの合計のうちn型窒化物半導体コンタクト層105の厚さの上限は特に限定されるものではない。

#### 【0034】

n型窒化物半導体超格子層106の厚さは特に限定されないが、 $0.005 \mu\text{m}$ 以上 $0.5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $0.1 \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。n型窒化物半導体超格子層106の厚さが $0.005 \mu\text{m}$ 以上 $0.5 \mu\text{m}$ 以下である場合、特に $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $0.1 \mu\text{m}$ 以下である場合には、n型窒化物半導体超格子層106が下地であるn型窒化物半導体コンタクト層105から伸びる結晶欠陥を減少させるとともに、n型窒化物半導体超格子層106において新たな結晶欠陥が生じにくくなる傾向にある。

#### 【0035】

n型窒化物半導体超格子層106へのn型不純物のドーピングプロファイルについては、良好な結晶性を確保し、素子の動作電圧を低減する観点から、GaN層にのみn型不純物をドーピングし、その設定不純物濃度は $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下であることが好ましい。なお、n型窒化物半導体超格子層106の構成は、上述したいずれの構成にも限定されるものではない。

#### 【0036】

n型窒化物半導体超格子層106の平均n型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であることが好ましく、 $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であることがより好ましく、 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であることがさらに好ましい。n型窒化物半導体超格子層106のn型不純物がドーピングされる層のn型不純物濃度が上記の値である場合には、pn接合の空乏層が広がりにくいため、窒化物半導体発光素子100の静電容量が増加し、静電気放電(Electrostatic Discharge)による破壊(静電破壊)が生じにくくなり、静電耐圧が向上する傾向にある。なお、平均n型不純物濃度とは、n型窒化物半導体超格子層106中のn型不純物の総原子量をn型窒化物半導体超格子層106の体積で割った値である。

10

20

30

40

50

## 【0037】

n型窒化物半導体超格子層106上には、n型Ga<sub>1-x</sub>Nからなるn型窒化物半導体障壁層とアンドープInGa<sub>1-x</sub>N窒化物半導体量子井戸層とがn型窒化物半導体超格子層106側からこの順序で交互に積層され、最上層にアンドープGa<sub>1-x</sub>Nからなる窒化物半導体障壁層を積層してなる窒化物半導体活性層107が積層されている。なお、量子井戸層を挟む層を障壁層とするため、障壁層の数は量子井戸層の数+1となる。このように、窒化物半導体活性層107の最上層以外の障壁層にn型不純物をドーピングし、最上層の障壁層をアンドープとすることによって、ホールと電子との結合位置を多重量子井戸(MQW)中に存在させることができるため、キャリアの注入効率が高くなり、特に大電流密度の電流を注入した場合にも、電子がオーバーフローすることのない高い発光効率の窒化物半導体発光素子を得ることができる。

10

## 【0038】

窒化物半導体活性層107としては上記以外にも、たとえば、Ga<sub>1-z</sub>In<sub>z</sub>N(0<z<0.4)の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層を量子井戸層とし、この量子井戸層よりもバンドギャップの大きいAl<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N(0<x<1、0<y<1、0<z<1、x+y+z=1)の式で表わされる窒化物半導体からなる窒化物半導体層を障壁層として、量子井戸層と障壁層とを交互に1層ずつ積層したMQW構造を有するものを用いることができる。

## 【0039】

窒化物半導体活性層107が、たとえば、Ga<sub>1-z</sub>In<sub>z</sub>N(0<z<0.4)の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層を量子井戸層とする多重量子井戸(MQW)構造からなる場合には、所望の発光波長となるように、窒化物半導体活性層107のIn組成や厚さを制御することができる。

20

## 【0040】

窒化物半導体活性層107上には、p型AlGa<sub>1-x</sub>Nからなる第1のp型窒化物半導体層108と、アンドープAlGa<sub>1-x</sub>Nからなる第2のp型窒化物半導体層109と、アンドープGa<sub>1-x</sub>Nからなる第3のp型窒化物半導体層110と、p型不純物が高濃度にドーピングされたp+Ga<sub>1-x</sub>Nからなる第4のp型窒化物半導体層111とが、この順序で積層されている。

## 【0041】

第1のp型窒化物半導体層108としては、p型AlGa<sub>1-x</sub>N以外にも、たとえば、Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N(0<x<1、0<y<1、0<z<1)の式で表わされるAlを含むIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層にたとえばMgなどのp型不純物をドーピングした層などを積層することができる。

30

## 【0042】

第2のp型窒化物半導体層109としては、アンドープAlGa<sub>1-x</sub>N以外にも、たとえば、Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N(0<x<1、0<y<1、0<z<1)の式で表わされるAlを含むIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層にたとえばMgなどのp型不純物をドーピングした層などを積層することができる。

## 【0043】

第1のp型窒化物半導体層108および第2のp型窒化物半導体層109のそれぞれのバンドギャップは、電子のオーバーフローを抑制するために、窒化物半導体活性層107のバンドギャップよりも大きくすることが好ましい。そのため、第1のp型窒化物半導体層108および第2のp型窒化物半導体層109にはそれぞれAlを含む窒化物半導体層を用いることができる。

40

## 【0044】

また、第1のp型窒化物半導体層108の平均Al組成(x<sub>5</sub>)と、第2のp型窒化物半導体層109の平均Al組成(x<sub>6</sub>)とは同等である。第1のp型窒化物半導体層108の平均Al組成(x<sub>5</sub>)と、第2のp型窒化物半導体層109の平均Al組成(x<sub>6</sub>)とを同等にすることによって、Mgなどのp型不純物の取り込みやすさのばらつきを抑え

50

ることができるため、p型不純物の面内分布やウエ八間におけるばらつきを抑えることができる。

【0045】

第1のp型窒化物半導体層108の平均Al組成(x5)および第2のp型窒化物半導体層109の平均Al組成(x6)はそれぞれ、各層のAl組成が均一である場合には、そのAl組成x5、x6となるが、層厚方向に沿って不均一である場合には、各層の体積に対するAlの総原子量、Gaの総原子量、Inの総原子量およびNの総原子量の比を、それぞれ求め、これらをそれぞれNの総原子量の比で割ることによって、平均組成 $Al_{x_5}Ga_{y_5}In_{z_5}N$  ( $0 < x_5 \leq 1, 0 \leq y_5 \leq 1, 0 \leq z_5 \leq 1$ )および $Al_{x_6}Ga_{y_6}In_{z_6}N$  ( $0 < x_6 \leq 1, 0 \leq y_6 \leq 1, 0 \leq z_6 \leq 1$ )を求めることができる。

10

【0046】

第1のp型窒化物半導体層108の平均Al組成(x5)と、第2のp型窒化物半導体層109の平均Al組成(x6)とが同等であるためには、第1のp型窒化物半導体層108の平均Al組成(x5)と第2のp型窒化物半導体層109の平均Al組成(x6)との差の絶対値が0.02以下であればよい。

【0047】

また、第2のp型窒化物半導体層109のp型不純物濃度は、第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度よりも低い。第2のp型窒化物半導体層109のp型不純物濃度に比べて、窒化物半導体活性層107に近い側の第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度が低い場合には、窒化物半導体活性層107におけるホールの障壁が高くなってしまいうため、ホールの注入効率が悪くなり、素子の発光効率が低下する。

20

【0048】

また、窒化物半導体活性層107に近い側の第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度が低く、第2のp型窒化物半導体層109のp型不純物濃度が高い場合には、静電気などの高い逆電圧がかかった場合に、空乏層が第2のp型窒化物半導体層109にまで広がってしまう。このとき、広がった空乏層中に1箇所でも静電耐圧の低い部分が存在する場合には静電破壊が起こってしまうため、静電耐圧が弱い構造になる。

【0049】

一方、第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度が高く、さらにはn型窒化物半導体超格子層106のn型不純物濃度が高い場合には、第1のp型窒化物半導体層108およびn型窒化物半導体超格子層106の外側に空乏層が広がりやすくなるため、静電耐圧が高くなる。

30

【0050】

また、第2のp型窒化物半導体層109のp型不純物濃度を、第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度と同一またはそれ以上とした場合には、その後の第3のp型窒化物半導体層110の積層時にMgなどのp型不純物が析出して、第2のp型窒化物半導体層109と第3のp型窒化物半導体層110との間にp型不純物濃度が局所的に高くなる層ができる。このような層は窒化物半導体活性層107へのホールの注入効率を低下させ、素子の発光効率を低下させるため、第2のp型窒化物半導体層109のp型不純物濃度は第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度よりも低くされる。

40

【0051】

なお、層中のp型不純物濃度(原子濃度)は、SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometry)法によって求めることができる。

【0052】

第1のp型窒化物半導体層108および第2のp型窒化物半導体層109はそれぞれ、たとえばAlGaIn層とGaN層(InGaIn層でもよい。)とを交互に積層した超格子構造であってもよい。第1のp型窒化物半導体層108および/または第2のp型窒化物半導体層109が超格子構造を有する場合には、平均Al組成は、超格子構造のAlの平均組成とされる。

【0053】

50

第1のp型窒化物半導体層108と第2のp型窒化物半導体層109との厚さの合計は特に限定されないが、 $0.005\ \mu\text{m}$ 以上 $0.4\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $0.001\ \mu\text{m}$ 以上 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。これらの層の厚さの合計が $0.005\ \mu\text{m}$ 以上 $0.4\ \mu\text{m}$ 以下である場合、特に $0.001\ \mu\text{m}$ 以上 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下である場合には、p型窒化物半導体層としての機能を維持しつつ、高温成長層であるp型窒化物半導体層の成長時間を極力少なくすることにより、低温成長層である窒化物半導体活性層107へのp型不純物の拡散や熱履歴による変質を抑制することができる傾向にある。

【0054】

第3のp型窒化物半導体層110としては、アンドープGaN以外にも、たとえば、 $\text{Al}_{x7}\text{Ga}_{y7}\text{In}_{z7}\text{N}$  ( $0 < x7 < 1$ 、 $0 < y7 < 1$ 、 $0 < z7 < 1$ 、 $x7 + y7 + z7 = 1$ ) の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層にたとえばMgなどのp型不純物をドーピングした層などを積層することができる。

10

【0055】

第3のp型窒化物半導体層110の平均Al組成は、第1のp型窒化物半導体層の平均Al組成よりも小さいことが好ましい。第3のp型窒化物半導体層110の平均Al組成が第1のp型窒化物半導体層の平均Al組成よりも小さい場合には、平均Al組成が小さいためにp型窒化物半導体層としての特性が向上する。なお、第3のp型窒化物半導体層110には、Alが含まれていなくてもよい。

【0056】

第3のp型窒化物半導体層110のバンドギャップは、第2のp型窒化物半導体層109のバンドギャップよりも小さくされる。第3のp型窒化物半導体層110はp型窒化物半導体層としての機能が重要であるため、バンドギャップの大きさは特に要求されないのに対し、第2のp型窒化物半導体層109は窒化物半導体活性層107からp側への電子のオーバーフローを防ぐためにバンドギャップを大きくする必要がある。

20

【0057】

第3のp型窒化物半導体層110のp型不純物濃度は、第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度よりも低くされる。第3のp型窒化物半導体層110のp型不純物濃度が第1のp型窒化物半導体層108のp型不純物濃度よりも低い場合には、第2のp型窒化物半導体層109と第3のp型窒化物半導体層110との間にp型不純物濃度が高くなる部分が生じにくくなり、p型不純物の窒化物半導体活性層107への拡散が生じにくくなる傾向にある。

30

【0058】

第4のp型窒化物半導体層111としては、p+GaN以外にも、たとえば、 $\text{Al}_{x8}\text{Ga}_{y8}\text{In}_{z8}\text{N}$  ( $0 < x8 < 1$ 、 $0 < y8 < 1$ 、 $0 < z8 < 1$ 、 $x8 + y8 + z8 = 1$ ) の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層にたとえばMgなどのp型不純物をドーピングした層などを積層することができる。

【0059】

第4のp型窒化物半導体層111のバンドギャップは、第2のp型窒化物半導体層109のバンドギャップよりも小さいことが好ましい。第4のp型窒化物半導体層111はp型窒化物半導体層としての機能が重要であるため、バンドギャップの大きさは特に要求されないのに対し、第1のp型窒化物半導体層108は窒化物半導体活性層107からp側への電子のオーバーフローを防ぐためにバンドギャップを大きくする必要があることが好ましいためである。

40

【0060】

第4のp型窒化物半導体層111のp型不純物濃度は、第3のp型窒化物半導体層110のp型不純物濃度よりも高いことが好ましい。第4のp型窒化物半導体層111のp型不純物濃度が第3のp型窒化物半導体層110のp型不純物濃度よりも高い場合には、第4のp型窒化物半導体層111と後述する透明電極115とのコンタクト抵抗を十分に低く保ちつつ、拡散するp型不純物の総量を抑制することができる傾向にある。

【0061】

50

第4のp型窒化物半導体層111の厚さは特に限定されないが、0.01 $\mu$ m以上0.5 $\mu$ m以下であることが好ましく、0.05 $\mu$ m以上0.2 $\mu$ m以下であることがより好ましい。第4のp型窒化物半導体層111の厚さが0.01 $\mu$ m以上0.5 $\mu$ m以下である場合、特に0.05 $\mu$ m以上0.2 $\mu$ m以下である場合には、窒化物半導体発光素子の発光出力が向上する傾向にある。

【0062】

第4のp型窒化物半導体層111の表面の一部には透明電極115が形成されている。また、透明電極115の表面の一部にはp側パッド電極116が電氣的に接続されるようにして形成されており、n型窒化物半導体コンタクト層105の表面の一部にはn側パッド電極117が電氣的に接続されるようにして形成されている。

10

【0063】

図2に、本実施の形態の窒化物半導体発光素子の模式的な上面図を示す。図2に示すように、p側パッド電極116は、透明電極115の表面内に形成されている。

【0064】

透明電極115の材料としては、たとえば、ITO (Indium Tin Oxide)、酸化錫、酸化インジウム、酸化亜鉛、酸化ガリウム、IZO (Indium Zinc Oxide)、AZO (Aluminum Zinc Oxide) またはGZO (Gallium Zinc Oxide) などを用いることができる。

【0065】

透明電極115の厚さは、10nm以上1000nm以下とすることが好ましく、50nm以上500nm以下とすることがより好ましい。透明電極115の厚さが10nm以上1000nm以下である場合、特に50nm以上500nm以下である場合には、透明電極115の比抵抗を小さくして電流の拡散を促進する効果と、透明電極115の光透過率を確保して光取り出し効率を向上させる効果とのバランスが良好であり、光出力を極大にすることができる傾向にある。

20

【0066】

p側パッド電極116およびn側パッド電極117としては、たとえば、Ni層とAu層との積層体、Ti層とAl層との積層体、Ti-Al合金層、Hf層とAl層との積層体またはHf-Al合金層などを用いることができる。

【0067】

また、p側パッド電極116およびn側パッド電極117としては、ITOなどの透明導電膜を用いてもよく、高反射率の金属を用いてフリップチップタイプの発光素子とすることもできる。

30

【0068】

以下に、本実施の形態の窒化物半導体発光素子の製造方法の一例について説明する。まず、サファイア基板101上に、たとえばAlNからなる窒化物半導体バッファ層102、たとえばアンドープGaNからなる窒化物半導体中間層103およびたとえばn型GaNからなるn型窒化物半導体下地層104をこの順序でたとえばMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法などにより気相成長させることによってテンプレート基板を形成する。

40

【0069】

次に、テンプレート基板のn型窒化物半導体下地層104上に、たとえばMOCVD法によって、たとえばn型GaNからなるn型窒化物半導体コンタクト層105およびたとえばn型GaN層とアンドープInGaN層とが交互に積層されたn型窒化物半導体超格子層106をこの順に気相成長させる。

【0070】

次に、n型窒化物半導体超格子層106上に、たとえばMOCVD法によって、たとえばn型GaNからなるn型窒化物半導体障壁層とアンドープInGaN窒化物半導体量子井戸層とがn型窒化物半導体超格子層106側からこの順序で交互に積層され、最上層にアンドープGaNからなる窒化物半導体障壁層を積層してなる窒化物半導体活性層107

50

を気相成長させる。

【0071】

ここで、窒化物半導体活性層107が、たとえば、 $Ga_{1-z}In_zN$  ( $0 < z < 0.4$ ) の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層を量子井戸層とする多重量子井戸(MQW)構造からなる場合には、窒化物半導体活性層107の気相成長時のテンプレート基板の温度が低いと結晶性が悪化するおそれがある一方で、窒化物半導体活性層107の気相成長時のテンプレート基板の温度が高いとInNの昇華が顕著になって固相中へのInの取り込み効率が低減してIn組成が変動するおそれがある。そのため、窒化物半導体活性層107が、たとえば、 $Ga_{1-z}In_zN$  ( $0 < z < 0.4$ ) の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる窒化物半導体層を量子井戸層とする多重量子井戸(MQW)構造からなる場合には、窒化物半導体活性層107の形成時のテンプレート基板の温度は700 以上900 以下であることが好ましい。

10

【0072】

次に、窒化物半導体活性層107上に、たとえばMOCVD法によって、たとえばp型AlGaNなどのAlを含む第1のp型窒化物半導体層108を気相成長させる。ここで、第1のp型窒化物半導体層108がp型AlGaNからなる場合には、第1のp型窒化物半導体層108を低い圧力で成長させるとともに、III族原料ガスの量およびV族原料ガスの量を変動させずに成長させることで均一な高品質の膜が得られる。

【0073】

次に、第1のp型窒化物半導体層108上に、たとえばMOCVD法によって、たとえばアンドープAlGaNなどのAlを含む第2のp型窒化物半導体層109を気相成長させる。なお、本明細書において、アンドープとは、気相成長時に不純物を意図的に入れていないことをいい、アンドープの層であっても拡散などの理由によって不純物が含まれることがある。また、第2のp型窒化物半導体層109がp型AlGaNからなる場合には、第2のp型窒化物半導体層109を低い圧力で成長させるとともに、III族原料ガスの量およびV族原料ガスの量を変動させずに成長させることで均一な高品質の膜が得られる。

20

【0074】

なお、上述したように、第2のp型窒化物半導体層109は、第1のp型窒化物半導体層108よりも平均Al組成が低く形成されるとともに、第1のp型窒化物半導体層108よりもp型不純物濃度が低濃度となるようにp型不純物がドーピングされて形成される。

30

【0075】

次に、第2のp型窒化物半導体層109上に、たとえばMOCVD法によって、たとえばアンドープGaNからなる第3のp型窒化物半導体層110からなる第2のp型窒化物半導体層109を気相成長させる。ここで、第3のp型窒化物半導体層110は、第1のp型窒化物半導体層108よりも平均Al組成が低く形成されることが好ましい。また、第3のp型窒化物半導体層110は、第1のp型窒化物半導体層108よりもp型不純物濃度が低濃度となるようにp型不純物がドーピングされて形成されることが好ましい。

【0076】

また、第2のp型窒化物半導体層109を気相成長させた後であって、第3のp型窒化物半導体層110を気相成長させる前に、気相成長を中断することが好ましい。この場合には、気相成長の中断中に、第3のp型窒化物半導体層110の成長レートに適した気相の圧力に変化させることができる傾向にある。

40

【0077】

次に、第3のp型窒化物半導体層110上に、たとえばMOCVD法によって、たとえばp+GaNからなる第4のp型窒化物半導体層111を気相成長させる。ここで、第4のp型窒化物半導体層111は、第3のp型窒化物半導体層110よりもp型不純物濃度が高濃度となるようにp型不純物がドーピングされて形成されることが好ましい。

【0078】

50

次に、第4のp型窒化物半導体層111の表面の一部に、たとえばスパッタリング法または真空蒸着法によって、たとえばITOからなる透明電極115を形成する。

【0079】

次に、透明電極115の形成後のウエハの一部をエッチングにより除去して、n型窒化物半導体コンタクト層105の表面の一部を露出させる。

【0080】

次に、透明電極115の表面の一部にp側パッド電極116を形成するとともに、n型窒化物半導体コンタクト層105の表面の一部にn側パッド電極117を形成する。その後、スクライブ等によってウエハを個々の素子に分割することにより、本実施の形態の窒化物半導体発光素子(窒化物半導体発光ダイオード素子)が得られる。

10

【0081】

本実施の形態の窒化物半導体発光素子においては、窒化物半導体発光素子の製造プロセスにおける熱処理工程を経た後においても、窒化物半導体活性層107にp型不純物が拡散するのを抑制することができる一方で、窒化物半導体活性層107の近傍に高いp型不純物濃度のp型窒化物半導体層を設置できるという、通常であれば相反する構成を両立させることが可能である。これにより、高い発光効率の窒化物半導体発光素子を実現することができる。

【実施例】

【0082】

<実施例1>

20

実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子として、図1および図2に示すように、表面に凹凸加工が施されたサファイア基板101上に、AlNバッファ層102、アンドープGaN層103、n型GaN下地層104(n型不純物(Si)濃度： $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )、n型GaNコンタクト層105(n型不純物(Si)濃度： $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $1.5 \mu\text{m}$ )、Siドープn型GaN層(n型不純物(Si)濃度： $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $1.75 \text{nm}$ )とSiドープn型InGaN層(n型不純物(Si)濃度： $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $1.75 \text{nm}$ )とを交互に20周期積層してなるn型超格子層106、Siドープn型GaN障壁層(n型不純物(Si)濃度： $4 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $6.5 \text{nm}$ )とアンドープInGaN量子井戸層(厚さ： $3.5 \text{nm}$ )とを交互に6周期積層した後、アンドープGaN障壁層を積層してなる窒化物半導体活性層107、Mgドープp型AlGaNからなる第1のp型窒化物半導体層108(p型不純物(Mg)濃度： $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $11.75 \text{nm}$ )、アンドープAlGaNからなる第2のp型窒化物半導体層109(p型不純物(Mg)濃度： $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $3.75 \text{nm}$ )、アンドープGaNからなる第3のp型窒化物半導体層110(p型不純物(Mg)濃度： $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $60 \text{nm}$ )およびp+GaNからなる第4のp型窒化物半導体層111(p型不純物(Mg)濃度： $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ： $20 \text{nm}$ )がこの順に積層されている。

30

【0083】

また、第4のp型窒化物半導体層107の表面の一部にITOからなる透明電極115が形成されており、透明電極115の表面の一部には透明電極115に近い側からNi層およびAu層の積層体からなるp側パッド電極116が形成され、n型GaNコンタクト層105の表面の一部にはNi層およびAu層の積層体からなるn側パッド電極117が形成されている。

40

【0084】

上記の構成を有する実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子は、以下のようにして作製した。

【0085】

まず、表面に凹凸加工が施されたサファイア基板101上に、スパッタリング法またはMOCVD法により、AlNバッファ層102を形成し、AlNバッファ層102上にアンドープGaN層103およびSiがドーピングされたn型GaN下地層104(n型不

50

純物 (Si) 濃度:  $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ) をこの順序で積層してテンプレート基板を作製した。ここで、n型 GaN 下地層 104 の Si ドーピング濃度は  $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  とした。

【0086】

次に、気相成長装置である MOCVD 装置内にテンプレート基板をセットし、MOCVD 装置内の気相の圧力を  $2 \times 10^2 \text{ Pa}$  に制御した。次に、MOCVD 装置内に、キャリアガスとしての  $\text{H}_2$  ガスと、V 族原料としての  $\text{NH}_3$  ガスとを流しながらテンプレート基板を 1195 まで昇温し、テンプレート基板の n 型 GaN 下地層 104 上に n 型 GaN コンタクト層 105 (n 型不純物 (Si) 濃度:  $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ) を  $1.5 \mu\text{m}$  の厚さに気相成長させた。ここで、n 型 GaN コンタクト層 105 の気相成長に用いられた Si

10

【0087】

次に、n 型 GaN コンタクト層 105 の気相成長後には、キャリアガスを  $\text{H}_2$  ガスから  $\text{N}_2$  ガスに切り替え、テンプレート基板の温度を 870 まで低下させた。

【0088】

次に、厚さ  $1.75 \text{ nm}$  の Si ドープ n 型 GaN 層と、厚さ  $1.75 \text{ nm}$  の n 型 InGaIn 層とを交互に 20 ペア積層することによって総厚が  $70 \text{ nm}$  の n 型超格子層 106 を積層した。ここで、Si ドープ原料には  $\text{SiH}_4$  ガスを用いた。n 型超格子層 106 をこのようにハイドープにすることで、静電気などの高い逆電圧がかかっても、空乏層は

20

【0089】

n 型超格子層 106 を気相成長した後、テンプレート基板の温度を 850 に低下させた。そして、厚さ  $6.5 \text{ nm}$  の Si ドープ n 型 GaN 障壁層と、厚さ  $3.5 \text{ nm}$  のアンドープ InGaIn 量子井戸層と、を 6 ペア積層した後、テンプレート基板の温度を 860 に上昇させて厚さ  $6.5 \text{ nm}$  のアンドープの GaN 障壁層を積層して総厚が  $66.5 \text{ nm}$  の MQW 構造を有する窒化物半導体活性層 107 を形成した。ここで、Si ドープ n 型 Ga

30

【0090】

このように、窒化物半導体活性層 107 を構成する障壁層のうち、初めの 6 層には Si をドーピングし、最後の障壁層をアンドープとすることで、ホールと電子との結合位置を窒化物半導体活性層 107 の MQW の内部とすることができ、大電流を注入した場合でも電子がオーバーフローすることなく高い発光効率を有する窒化物半導体発光素子が得られる。

【0091】

また、窒化物半導体活性層 107 を気相成長させた後には、後述する p 型層を成長させるためにテンプレート基板の温度を上昇させるが、窒化物半導体活性層 107 の最上層の

40

アンドープの GaN 障壁層がダメージを受けやすい。しかしながら、最上層のアンドープの GaN 障壁層をアンドープとし、テンプレート基板の温度を 860 に上昇させてから最上層のアンドープの GaN 障壁層を気相成長させることによって、最上層のアンドープの GaN 障壁層の結晶品質が向上し、テンプレート基板の温度の上昇によるダメージを防ぐことができる。

【0092】

次に、MOCVD 装置内の気相の圧力を  $1 \times 10^4 \text{ Pa}$  に低下させるとともに、テンプレート基板の温度を 1110 に上昇させた。なお、MOCVD 装置内の気相の圧力を  $1 \times 10^4 \text{ Pa}$  に低下させることによって、多数枚のウエハを成長することができる MOCVD 装置内における後述する AlGaIn 層の Al 組成のウエハ間でのばらつきやウエハ内

50

でのAl組成のばらつきを抑制することができ、素子の歩留まりを良くすることができる。

【0093】

次に、MOCVD装置内に供給されるキャリアガスをN<sub>2</sub>ガスからH<sub>2</sub>ガスに切り替え、厚さ11.25nmのMgドープp型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nからなる第1のp型窒化物半導体層108(p型不純物(Mg)濃度:  $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ )を気相成長させるとともに、厚さ3.75nmのアンドープAl<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N層からなる第2のp型窒化物半導体層109(p型不純物(Mg)濃度:  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ )を気相成長させた。

【0094】

ここで、第1のp型窒化物半導体層108の平均Al組成は17%とし、第1のp型窒化物半導体層108のMgドープ原料にはCP<sub>2</sub>Mg(ビスシクロペンタジエニルマグネシウム)ガスを用いてMgドーピング濃度は $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とした。

【0095】

また、第2のp型窒化物半導体層109の平均Al組成は17%とし、第2のp型窒化物半導体層109の気相成長中にはCP<sub>2</sub>Mgガスを流さなかった。しかし、実際に成長したアンドープAlGa<sub>0.83</sub>Nからなる第2のp型窒化物半導体層109中には、拡散によりMgが取り込まれており、第2のp型窒化物半導体層109中のMg原子濃度は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0096】

次に、気相成長を一旦中断してMOCVD装置内の気相の圧力を $2 \times 10^4 \text{ Pa}$ に上昇させた。その後、気相成長を開始して、厚さ60nmのアンドープのGa<sub>0.83</sub>Nからなる第3のp型窒化物半導体層110(p型不純物(Mg)濃度:  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ )を気相成長させ、厚さ30nmのp+Ga<sub>0.83</sub>Nからなる第4のp型窒化物半導体層111(p型不純物(Mg)濃度:  $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ )を気相成長させた。ここで、MOCVD装置内の気相の圧力を $2 \times 10^4 \text{ Pa}$ に戻す理由としては、Mgの活性化率が向上して、素子の動作電圧を低減することができるためである。

【0097】

ここで、第3のp型窒化物半導体層110の気相成長中にはCP<sub>2</sub>Mgガスを流さなかった。しかし、実際に成長したアンドープGa<sub>0.83</sub>Nからなる第3のp型窒化物半導体層110には、拡散によりMgが取り込まれており、第3のp型窒化物半導体層110中のMg原子濃度は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0098】

また、p+Ga<sub>0.83</sub>Nからなる第4のp型窒化物半導体層111のMgドーピング濃度は、 $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とした。第4のp型窒化物半導体層111のMgドーピング濃度を $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ といったハイドープとすることによって、第4のp型窒化物半導体層111と後述するITOからなる透明電極115とのコンタクト抵抗を低減することができるため、素子の駆動電圧を低減することができる。

【0099】

次に、第1のp型窒化物半導体層108、第2のp型窒化物半導体層109、第3のp型窒化物半導体層110および第4のp型窒化物半導体層111のp型化を促進するためN<sub>2</sub>ガス雰囲気中で950℃のアニールを行なった。

【0100】

次に、第4のp型窒化物半導体層111の表面の一部にITOからなる透明電極115をスパッタリング法により形成した。次に、ITOの特性改善のため、透明電極115の形成後のウエハを酸素を含んだ雰囲気中で500℃のアニールを行った。

【0101】

その後、透明電極115の形成後のウエハの一部をエッチングにより除去することによってn型Ga<sub>0.83</sub>Nコンタクト層105の表面の一部を露出させた。そして、透明電極115の表面上およびn型Ga<sub>0.83</sub>Nコンタクト層105の表面上に、それぞれ、真空蒸着法により、Ni層およびAu層からなるp側パッド電極116とn側パッド電極117とを同時に

10

20

30

40

50

形成した。

【0102】

その後、p側パッド電極116とn側パッド電極117以外の全体を覆う保護膜（図示せず）を形成し、p側パッド電極116と透明電極115とのコンタクト抵抗ならびにn側パッド電極113とn型GaNコンタクト層105とのコンタクト抵抗をそれぞれ低減するため、保護膜を形成した状態で300の熱処理を行なった。その後、スクライビングおよび曲げ応力の印加によってウエハを個々の素子に分割することにより、実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子を得た。

【0103】

上記のようにして得られた実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子をチップ状態（樹脂封止によるパッケージング前）で10個検査した結果、30mAの動作電流で発光出力が平均37mWであった。また、実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子の静電耐圧はHBM（Human Body Model）法で1500Vを印加して検査した結果10個とも良好であったため、1500V以上であった。したがって、実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子は、発光特性および静電耐圧ともに良好であった。

【0104】

<比較例>

比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子を以下のようにして作製した。まず、窒化物半導体活性層107までは実施例1と同様にして作製した。次に、キャリアガスをN<sub>2</sub>ガスからH<sub>2</sub>ガスに切り替え、窒化物半導体活性層107上にp型AlGaN層を15nmの厚さに気相成長した（成長条件は第1のp型窒化物半導体層108と同じ。）。  
20

【0105】

次に、MOCVD装置内の気相の圧力を $2 \times 10^4$ Paに上昇させた後、p型GaN層を60nmの厚さに気相成長させた（成長条件は第3のp型窒化物半導体層110と同じ。）。そして、p+GaN層を30nmの厚さに気相成長させた（成長条件は第4のp型窒化物半導体層111と同じ。）。その後は、実施例1と同様にして比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子を作製した。

【0106】

上記のようにして得られた比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子は、30mAの動作電流で発光出力が33mWであって、実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子と比較して発光出力が約1割低かった。  
30

【0107】

図3に、実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子および比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子のSIMS（Secondary Ion Mass Spectrometry）による原子濃度プロファイルを示す。図3の横軸は深さ（depth(a.u.))を示し、縦軸は原子濃度（concentration(a.u.))を示している。また、図3中の1-Mgは実施例1のMg原子濃度を示し、0-Mgは比較例のMg原子濃度を示し、AlはAl相対原子濃度（実施例1および比較例でほぼ一致）を示しInはIn相対原子濃度（実施例1および比較例でほぼ一致）を示している。  
40

【0108】

図3における第1の特徴は、窒化物半導体活性層107中の最上層の量子井戸層におけるMg原子濃度である。図3中に、6周期の量子井戸層の最上層に相当する箇所に縦線を引き、その箇所における比較例のMg原子濃度をY0、実施例1のMg濃度をY1とする。Y0のMg原子濃度と、Y1のMg原子濃度との両者を比較すると、実施例1の窒化物半導体発光ダイオード素子は、比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子と比べて、量子井戸層の最上層のMg濃度を約半分に低減できていることがわかる。

【0109】

図3における第2の特徴は、比較例のMg原子濃度プロファイルにおいて、p型AlGaN層とp型GaN層との間にMg濃度が高くなっている点Xの存在である。本発明者らは、比較例においてこの界面に高濃度の部分があることに着目し、この界面近傍、すなわ  
50

ち p 型 AlGaIn 層の上部である第 2 の p 型窒化物半導体層 109 と、好ましくは p 型 GaN 層の下部である第 3 の p 型窒化物半導体層 110 とにおいて、キャリア濃度を低くする気相成長を行なうことが有効であることを見出した。この気相成長方法は、第 2 の p 型窒化物半導体層 109 の気相成長と第 3 の p 型窒化物半導体層 110 の気相成長との間に、気相の圧力を変更することなどによって、気相成長を中断する場合に特に有効である。

#### 【0110】

##### <実施例 2>

第 3 の p 型窒化物半導体層 110 をアンドープではなく、Mg をドーピングして第 3 の p 型窒化物半導体層 110 中の p 型不純物 (Mg) 濃度を  $4 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  としたこと以外は実施例 1 と同様にして実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子を作製した。

10

#### 【0111】

上記のようにして作製された実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子においては、実施例 1 と同じ  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  流量であっても、第 4 の p 型窒化物半導体層 111 の p 型不純物 (Mg) 濃度が  $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  と高くすることができる。

#### 【0112】

これにより、実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子においては、第 4 の p 型窒化物半導体層 111 と透明電極 115 とのコンタクト抵抗が低減し、素子の動作電圧を低減することができた。

#### 【0113】

##### <実施例 3>

第 3 の p 型窒化物半導体層 110 の気相成長用のガスとして TMI (トリメチルインジウム) をさらに供給したこと以外は実施例 1 と同様にして実施例 3 の窒化物半導体発光ダイオード素子を作製した。

20

#### 【0114】

第 3 の p 型窒化物半導体層 110 の気相成長中のテンプレート基板の温度が 1110 と高いため、In は第 3 の p 型窒化物半導体層 110 中には取り込まれないが、第 3 の p 型窒化物半導体層 110 中の Mg の活性化率を上げることができるため、素子の動作電圧を低減することができた。

#### 【0115】

##### <実施例 4>

図 4 および図 5 に示すように、実施例 4 の窒化物半導体発光ダイオード素子 200 として、表面に凹凸加工が施されたサファイア基板 201 上に、AlN バッファ層 202、アンドープ GaN 層 203、n 型 GaN 下地層 204 (n 型不純物 (Si) 濃度:  $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )、n 型 GaN コンタクト層 205 (n 型不純物 (Si) 濃度:  $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $1.5 \mu\text{m}$ )、Si ドープ n 型 GaN 層 (n 型不純物 (Si) 濃度:  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $1.75 \text{nm}$ ) と Si ドープ n 型 InGaIn 層 (n 型不純物 (Si) 濃度:  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $1.75 \text{nm}$ ) とを交互に 20 周期積層してなる n 型超格子層 206、Si ドープ n 型 GaN 障壁層 (n 型不純物 (Si) 濃度:  $4 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $6.5 \text{nm}$ ) とアンドープ InGaIn 量子井戸層 (厚さ:  $3.5 \text{nm}$ ) とを交互に 6 周期積層した後にアンドープ GaN 障壁層を積層してなる窒化物半導体活性層 207、アンドープの AlGaIn 層 218 (厚さ:  $2 \text{nm}$ )、Mg ドープ p 型 AlGaIn からなる第 1 の p 型窒化物半導体層 208 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $11.75 \text{nm}$ )、アンドープ AlGaIn からなる第 2 の p 型窒化物半導体層 209 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $3.75 \text{nm}$ )、アンドープ GaN からなる第 3 の p 型窒化物半導体層 210 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $60 \text{nm}$ ) および p+GaN からなる第 4 の p 型窒化物半導体層 211 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ:  $20 \text{nm}$ ) がこの順に積層されている。

30

40

#### 【0116】

また、第 4 の p 型窒化物半導体層 211 の表面の一部に ITO からなる透明電極 215

50

が形成されており、透明電極 215 の表面の一部には透明電極 215 に近い側から Ni 層および Au 層の積層体からなる p 側パッド電極 216 が形成され、n 型 GaN コンタクト層 205 の表面の一部には Ni 層および Au 層の積層体からなる n 側パッド電極 217 が形成されている。

【0117】

上記の構成を有する実施例 4 の窒化物半導体発光ダイオード素子は、以下のようにして作製した。

【0118】

まず、窒化物半導体活性層 207 までは、実施例 1 と同じように作製した。

次に、MOCVD 装置内の気相の圧力を  $1 \times 10^4$  Pa に低下させるとともに、テンプレート基板の温度を 1110 に上昇させた。なお、MOCVD 装置内の気相の圧力を  $1 \times 10^4$  Pa に低下させることによって、多数枚のウエハを成長することができる MOCVD 装置内における後述する AlGaIn 層の Al 組成のウエハ間でのばらつきやウエハ内での Al 組成のばらつきを抑制することができ、素子の歩留まりを良くすることができる。

【0119】

次に、MOCVD 装置内に供給されるキャリアガスを  $N_2$  ガスから  $H_2$  ガスに切り替え、厚さ 2 nm のアンドープの  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 を気相成長させ、次に、厚さ 11.25 nm の Mg ドープ p 型  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  からなる第 1 の p 型窒化物半導体層 208 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $2 \times 10^{19} / cm^3$ ) を気相成長させるとともに、厚さ 3.75 nm のアンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層からなる第 2 の p 型窒化物半導体層 209 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $1 \times 10^{19} / cm^3$ ) を気相成長させた。

【0120】

ここで、アンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 の平均 Al 組成は 17% とし、不純物原料ガスは流していない。

【0121】

また、第 1 の p 型窒化物半導体層 208 の平均 Al 組成は 17% とし、第 1 の p 型窒化物半導体層 208 の Mg ドープ原料には  $CP_2Mg$  (ビスシクロペンタジエニルマグネシウム) ガスを用いて Mg ドーピング濃度は  $2 \times 10^{19} / cm^3$  とした。

【0122】

また、第 2 の p 型窒化物半導体層 209 の平均 Al 組成は 17% とし、第 2 の p 型窒化物半導体層 209 の気相成長中には  $CP_2Mg$  ガスを流さなかった。

【0123】

次に、気相成長を一旦中断して MOCVD 装置内の気相の圧力を  $2 \times 10^4$  Pa に上昇させた。その後、気相成長を開始して、厚さ 60 nm のアンドープの GaN からなる第 3 の p 型窒化物半導体層 210 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $1 \times 10^{19} / cm^3$ ) を気相成長させ、厚さ 30 nm の p+GaN からなる第 4 の p 型窒化物半導体層 211 (p 型不純物 (Mg) 濃度:  $3 \times 10^{19} / cm^3$ ) を気相成長させた。

【0124】

このように成長した p 型層の実際の不純物濃度は、以下のようになっている。実際に成長したアンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 中には、拡散により Mg が取り込まれている。これは、第 1 の p 型窒化物半導体層 208 から Mg が拡散するためであるが、この Mg 拡散は、第 1 の p 型窒化物半導体層 208 の成長中に起こるものであり、その後の第 2 の p 型窒化物半導体層 209 を成長することにより、第 1 の p 型窒化物半導体層 208 からアンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 への拡散は止まり、その後の第 3 の p 型窒化物半導体層 210 および第 4 の p 型窒化物半導体層 211 の成長中は、実際には不純物原料ガスを流さずに成長した第 2 の p 型窒化物半導体層 209 により、Mg 拡散が防止される。アンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 の層厚は薄くこの層の Mg 濃度を検出するのは困難であるが、このアンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 中で、Mg 濃度は急峻に変化しており、アンドープ  $Al_{0.17}Ga_{0.83}N$  層 218 があることで、窒化物半導体活性層 2

10

20

30

40

50

07の最上層の井戸層中のMg濃度は $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となり、実施例1の場合よりも、さらに活性層へのMg拡散が抑えられたことになる。

【0125】

アンドープAl<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N層218は、Mg拡散防止の役割を果たしており、第2のp型窒化物半導体層209と同様の機能を果たしていると言える。しかし、アンドープAl<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N層218だけを形成し、実質的にアンドープで作製する第2のp型窒化物半導体層209を無くすと、Mg拡散防止機能が低下してしまう。これを補うために、アンドープAl<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N層218の厚さを2nmではなく、もっと厚くすると、Mg拡散防止効果は上がるが、素子の駆動電圧が上がってしまう。よって、アンドープAl<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N層218の厚さを最小限の厚さにとどめることが重要である。そのため

10

【0126】

図6に、実施例4の窒化物半導体発光ダイオード素子(以下、「実施例4の素子」という。)および実施例1と同様の製造方法で作製した窒化物半導体発光ダイオード素子(以下、「実施例1の素子」という。)のSIMSによる原子濃度プロファイルを示す。図6の横軸は深さ(depth(a.u.))を示し、縦軸は原子濃度(concentration(a.u.))を示している。また、図6中の2-Mgは実施例1の素子のMg原子濃度を示し、3-Mgは実施例4の素子のMg原子濃度を示し、AlはAl相対原子濃度(実施例4の素子と、実施例1の素子とでほぼ一致)を示し、InはIn相対原子濃度(実施例4の素子と、実施例1

20

【0127】

また、図6中に、6周期の量子井戸層の最上層に相当する箇所に縦線を引き、その箇所における実施例1の素子のMg原子濃度をY2、実施例4の素子のMg濃度をY3とする。Y2のMg原子濃度と、Y3のMg原子濃度との両者を比較すると、Y2のMg原子濃度は $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であるのに対し、Y3のMg原子濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となつて、さらにMg拡散を抑制できることが確認された。

【0128】

さらに、実施例4の素子の駆動電圧は、実施例1の素子と同様の30mAの動作電流で2.9Vであった。また、実施例4の素子の発光出力は、30mAの動作電流で45mW

30

【0129】

また、実施例4の素子について、HBMモデルで-1500Vの静電耐圧試験を実施したところ、30000個の静電耐圧試験で、静電気破壊されたのは、わずか2%であり、静電耐圧も良好であることがわかった。

【0130】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

40

【産業上の利用可能性】

【0131】

本発明は、窒化物半導体発光素子および窒化物半導体発光素子の製造方法に利用することができる。

【符号の説明】

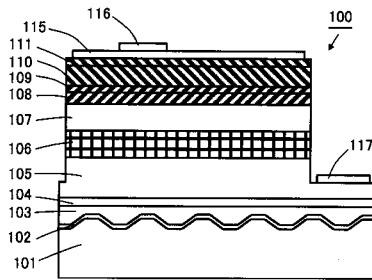
【0132】

100 窒化物半導体発光素子、101 サファイア基板、102 窒化物半導体バッファ層、103 窒化物半導体中間層、104 n型窒化物半導体下地層、105 n型窒化物半導体コンタクト層、106 n型窒化物半導体超格子層、107 窒化物半導体活性層、108 第1のp型窒化物半導体層、109 第2のp型窒化物半導体層、11

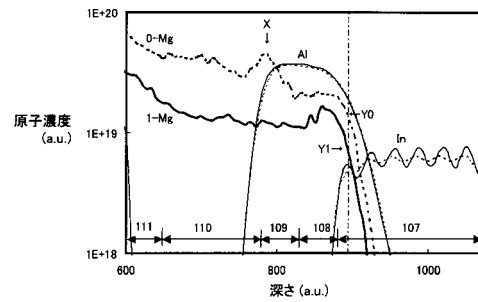
50

0 第3のp型窒化物半導体層、111 第4のp型窒化物半導体層、115 透明電極、116 p側パッド電極、117 n側パッド電極、200 窒化物半導体発光ダイオード素子、201 サファイア基板、202 AlNバッファ層、203 アンドープGaN層、204 n型GaN下地層、205 n型GaNコンタクト層、206 n型超格子層、207 窒化物半導体活性層、208 第1のp型窒化物半導体層、209 第2のp型窒化物半導体層、210 第3のp型窒化物半導体層、211 第4のp型窒化物半導体層、215 透明電極、216 p側パッド電極、217 n側パッド電極、218 アンドープAlGaN層。

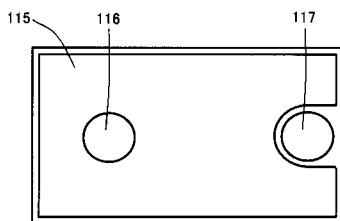
【図1】



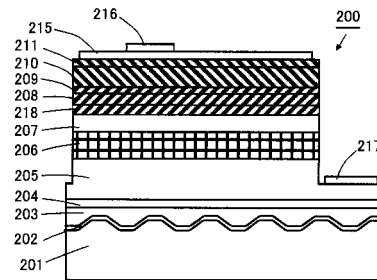
【図3】



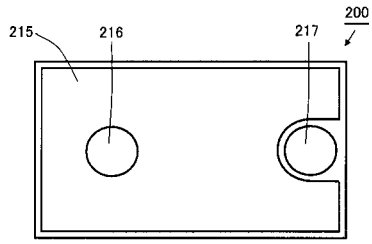
【図2】



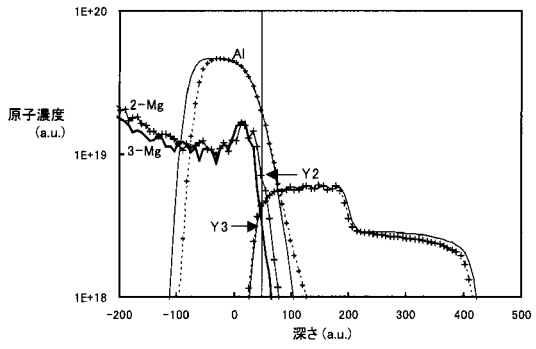
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-148507(JP,A)  
特開平08-148718(JP,A)  
特開2000-164922(JP,A)  
特開2001-015809(JP,A)  
特開2002-084038(JP,A)  
特開2007-201424(JP,A)  
特開平07-283140(JP,A)  
特開2005-026414(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00-33/64