

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年8月25日(25.08.2011)

PCT

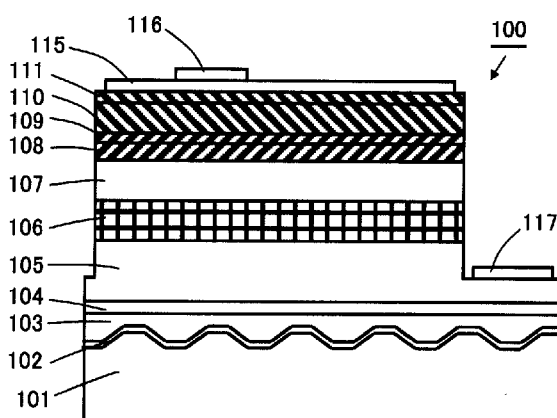
(10) 国際公開番号
WO 2011/102411 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/053358
- (22) 国際出願日: 2011年2月17日(17.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-034919 2010年2月19日(19.02.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 筆田 麻祐子 (FUJETA, Mayuko). 山田 英司 (YAMADA, Eiji).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (Fukami Patent Office, p.c.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(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

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a nitride semiconductor light-emitting element (100) comprising a p-type nitride semiconductor layer 1 (108), a p-type nitride semiconductor layer 2 (109), and a p-type nitride semiconductor layer 3 (110) placed in order above a nitride semiconductor active layer (107), wherein the p-type nitride semiconductor layer 1 (108) and p-type nitride semiconductor layer 2 (109) each contain Al, the average Al composition of the p-type nitride semiconductor layer 1 (108) is equivalent to the average Al composition of the p-type nitride semiconductor layer 2 (109), the p-type nitride semiconductor layer 3 (110) has a smaller band gap than the p-type nitride semiconductor layer 2 (109), the p-type impurity concentration of the p-type nitride semiconductor layer 2 (109) and the p-type impurity concentration of the p-type nitride semiconductor layer 3 (110) are both lower than the p-type impurity concentration of the p-type nitride semiconductor layer 1 (108), and a method for producing same.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/102411 A1



窒化物半導体活性層（107）上に、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、第3のp型窒化物半導体層（110）と、をこの順序で含み、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Alを含んでおり、第1のp型窒化物半導体層（108）の平均Al組成と、第2のp型窒化物半導体層（109）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（110）は、第2のp型窒化物半導体層（109）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（109）のp型不純物濃度および第3のp型窒化物半導体層（110）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（108）のp型不純物濃度よりも低い、窒化物半導体発光素子（100）と、その製造方法である。

明 細 書

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

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。

[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。

[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 ドープ p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ ブロッキング層と、Mg ドープ 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。

[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ピングした p 型クラッド層、p 型不純物を低濃度にドーピングした p 型低濃度ドーピング層、p 型不純物を高濃度にドーピングした 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、高濃度ドーピングの p 型層として Mg を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングした p 型 $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ からなる p 型クラッド層を形成し、低濃度ドーピングの p 型層としてはアンドープの GaN よりなる低濃度ドーピング層を形成し、高濃度ドーピングの p 型層としては Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングした高濃度ドーピング層を形成する技術が開示されている。

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

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AⅠ（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AⅠ組成と、第2のp型窒化物半導体層の平均AⅠ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A | 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A | 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A | 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。

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。
[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、アンドープ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。
- [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。
- [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G

a Nからなるn型窒化物半導体コンタクト層105およびn型Ga N層とn型In Ga N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Ga Nからなる層に限定されず、たとえば、 $A l_{x1} G a_{y1} I n_{z1} N$ ($0 \leq x1 \leq 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、 $x1 + y1 + z1 \neq 0$) 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] n型窒化物半導体コンタクト層105としては、なかでも、 $A l_{x2} G a_{1-x2} N$ ($0 \leq x2 \leq 1$ 、好ましくは $0 \leq x2 \leq 0.5$ 、より好ましくは $0 \leq x2 \leq 0.1$) 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Ga Nからなる窒化物半導体中間層103、n型Ga Nからなるn型窒化物半導体下地層104およびn型Ga N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

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型不純物がドーパされる層の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。

[0037] n 型窒化物半導体超格子層 106 上には、n 型 GaN からなる n 型窒化物半導体障壁層とアンドープ InGa_{1-x}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 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 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。

[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_{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し、この量子井戸層よりもバンドギャップの大きい Al_xGa_yIn_zN (0 ≤ x ≤ 1, 0 ≤ y ≤ 1, 0 ≤ z ≤ 1, x + y + z ≠ 0) 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_{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、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。

[0040] 窒化物半導体活性層 107 上には、p 型 AlGa_{1-x}N からなる第 1 の p 型窒

化物半導体層 108 と、アンドープ AlGaIn からなる第 2 の p 型窒化物半導体層 109 と、アンドープ GaIn 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+GaIn 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 AlGaIn 以外にも、たとえば、 $A_{1-x_5}Ga_{y_5}In_{z_5}N$ ($0 < x_5 \leq 1$, $0 \leq y_5 \leq 1$, $0 \leq z_5 \leq 1$) 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。
- [0042] 第 2 の p 型窒化物半導体層 109 としては、アンドープ AlGaIn 以外にも、たとえば、 $A_{1-x_6}Ga_{y_6}In_{z_6}N$ ($0 < x_6 \leq 1$, $0 \leq y_6 \leq 1$, $0 \leq z_6 \leq 1$) 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。
- [0044] また、第 1 の p 型窒化物半導体層 108 の平均 Al 組成 (x_5) と、第 2 の p 型窒化物半導体層 109 の平均 Al 組成 (x_6) 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_5) と、第 2 の p 型窒化物半導体層 109 の平均 Al 組成 (x_6) 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ることができるため、p 型不純物の面内分布やウエハ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 (x_5) および第 2 の p 型窒化物半導体層 109 の平均 Al 組成 (x_6) はそれぞれ、各層の Al 組

成が均一である場合には、そのA | 組成 x_5 、 x_6 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A | 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 $A |_{x_5} G a_{y_5} I n_{z_5} N$ ($0 < x_5 \leq 1$ 、 $0 \leq y_5 \leq 1$ 、 $0 \leq z_5 \leq 1$) および $A |_{x_6} G a_{y_6} I n_{z_6} N$ ($0 < x_6 \leq 1$ 、 $0 \leq y_6 \leq 1$ 、 $0 \leq z_6 \leq 1$) を求めることができる。

[0046] 第1のp型窒化物半導体層108の平均A | 組成 (x_5) と、第2のp型窒化物半導体層109の平均A | 組成 (x_6) 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A | 組成 (x_5) と第2のp型窒化物半導体層109の平均A | 組成 (x_6) 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。

[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にくくなるため、静電耐圧が高くなる。

[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。

- [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 GaIn 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] 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 GaIn 以外にも、たとえば、 $\text{Al}_{x7}\text{Ga}_{y7}\text{In}_{z7}\text{N}$ ($0 \leq x7 \leq 1$ 、 $0 \leq y7 \leq 1$ 、 $0 \leq z7 \leq 1$ 、 $x7 + y7 + z7 \neq 0$) 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。

- [0055] 第3のp型窒化物半導体層110の平均A1組成は、第1のp型窒化物半導体層の平均A1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A1組成が第1のp型窒化物半導体層の平均A1組成よりも小さい場合には、平均A1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、A1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。
- [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。
- [0058] 第4のp型窒化物半導体層111としては、p+Ga_{1-x}N以外にも、たとえば、 $A_1x_8Ga_y_8In_z_8N$ ($0 \leq x_8 \leq 1$ 、 $0 \leq y_8 \leq 1$ 、 $0 \leq z_8 \leq 1$ 、 $x_8 + y_8 + z_8 \neq 0$) 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。

[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] 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 μ m以上0.5 μ m以下であることが好ましく、0.05 μ m以上0.2 μ 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 μ m以上0.5 μ m以下である場合、特に0.05 μ m以上0.2 μ 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。

[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、10 nm 以上 1000 nm 以下とすることが好ましく、50 nm 以上 500 nm 以下とすることがより好ましい。透明電極 115 の厚さが 10 nm 以上 1000 nm 以下である場合、特に 50 nm 以上 500 nm 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との傾向にある。
- [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。
- [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。
- [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 I

n GaN 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 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°C 以上 900°C 以下であることが好ましい。

[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 AlGaIn 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 AlGaIn 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 AlGaIn 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 AlGaIn 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。

[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A1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。

[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A1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。

[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] 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。

[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>

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： 1.75nm ）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： 1.75nm ）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： 6.5nm ）とアンドープInGaN量子井戸層（厚さ： 3.5nm ）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： $2 \times 10^{19} /$

cm^3 、厚さ：11.75 nm)、アンドープAlGaIn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 nm)、アンドープGaIn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 nm) およびp-GaIn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 nm) がこの順に積層されている。

[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GaIn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。

[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GaIn層103およびSiがドーピングされたn型GaIn下地層104 (n型不純物(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GaIn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 H_2 ガスと、V族原料としての NH_3 ガスを流しながらテンプレート基板を 1195°C まで昇温し、テンプレート基板のn型GaIn下地層104上にn型GaIn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GaInコンタクト層105の気相成長に用いられたSiドーパント原料には SiH_4 ガスを用いて、Siドーピング濃度は $6 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とした。

- [0087] 次に、 n 型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層105の気相成長後には、キャリアガスをH₂ガスからN₂ガスに切り替え、テンプレート基板の温度を870°Cまで低下させた。
- [0088] 次に、厚さ1.75nmのSiドープ n 型Ga_{0.5}N_{0.5}層と、厚さ1.75nmの n 型InGa_{0.5}N_{0.5}層とを交互に20ペア積層することによって総厚が70nmの n 型超格子層106を積層した。ここで、Siドープパント原料にはSiH₄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 n 型超格子層106より下の n 型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層105やテンプレート基板の n 型Ga_{0.5}N_{0.5}下地層104まで広がらないため、静電耐圧が高くなる。なぜなら、結晶は基板に近づくほど、結晶品質が劣り、静電気などに弱い部分が存在するが、そこまで空乏層が広がらなければ静電破壊されないためである。
- [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°Cに低下させた。そして、厚さ6.5nmのSiドープ n 型Ga_{0.5}N_{0.5}障壁層と、厚さ3.5nmのアンドープInGa_{0.5}N_{0.5}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°Cに上昇させて厚さ6.5nmのアンドープのGa_{0.5}N_{0.5}障壁層を積層して総厚が66.5nm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_{0.5}N_{0.5}障壁層の気相成長に用いられたSiドープパント原料にはSiH₄ガスを用いた。
- [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の最上層のアンドープのGa_{0.5}N_{0.5}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Ga_{0.5}N_{0.5}障壁層をアンドープとし、

テンプレート基板の温度を860°Cに上昇させてから最上層のアンドープのGa_{0.17}N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Ga_{0.17}N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 1×10^4 Paに低下させるとともに、テンプレート基板の温度を1110°Cに上昇させた。なお、MOCVD装置内の気相の圧力を 1×10^4 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AlGa_{0.17}N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。

[0093] 次に、MOCVD装置内に供給されるキャリアガスをN₂ガスからH₂ガスに切り替え、厚さ11.25nmのMgドーピング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_{0.17}Ga_{0.83}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ドーパント原料にはC₂P₂Mg（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C₂P₂Mg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_{0.17}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 2×10^4 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_{0.17}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_{0.99}N_{0.01}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C₂P₂Mg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_{0.99}N_{0.01}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_{0.99}N_{0.01}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N₂ガス雰囲気中で950°C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°C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_{0.99}N_{0.01}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_{0.99}N_{0.01}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Ga_{0.5}N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°C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N₂ガスからH₂ガスに切り替え、窒化物半導体活性層107上にp型AlGa_{0.5}N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。）。

[0105] 次に、MOCVD装置内の気相の圧力を2×10⁴Paに上昇させた後、p型Ga_{0.5}N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+Ga_{0.5}N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。

[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。

[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、すなわちp型AlGaN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。

[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 Cp_2Mg 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。

[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°C 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： 1.75nm)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： 1.75nm)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 nm）とアンドープInGa_{0.17}N量子井戸層（厚さ：3.5 nm）とを交互に6周期積層した後にアンドープGa_{0.17}N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AlGa_{0.17}N層218（厚さ：2 nm）、Mgドープp型AlGa_{0.17}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： $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚さ：11.75 nm）、アンドープAlGa_{0.17}N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 nm）、アンドープGa_{0.17}N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 nm）およびp+Ga_{0.17}N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 nm）がこの順に積層されている。

[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Ga_{0.17}N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 $1 \times 10^4 \text{ Pa}$ に低下させるとともに、テンプレート基板の温度を 1110°C 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AlGa_{0.17}N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N₂ガスからH₂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11.25nm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： $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）を気相成長させるとともに、厚さ3.75nmのアンドープAl_{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： $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）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ドーパント原料にはC₂P₂Mg（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。

[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C₂P₂Mg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 2×10^4 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_{0.83}N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： $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）を気相成長させ、厚さ30nmのp+Ga_{0.83}N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： $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）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207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_{0.17}Ga_{0.83}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_{0.17}Ga_{0.83}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_{0.17}Ga_{0.83}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_{0.17}Ga_{0.83}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。そのためには、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と組み合わせることによって、Mg拡散防止と駆動電圧上昇の抑制を両立することができる。

[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の素子とでほぼ一致）を示している。

[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 Y_2 、実施例 4 の素子の Mg 濃度を Y_3 とする。 Y_2 の Mg 原子濃度と、 Y_3 の Mg 原子濃度との両者を比較すると、 Y_2 の Mg 原子濃度は $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であるのに対し、 Y_3 の Mg 原子濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となって、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 30 mA の動作電流で 2.9 V であった。また、実施例 4 の素子の発光出力は、 30 mA の動作電流で 45 mW が得られた。

[0129] また、実施例 4 の素子について、HBMモデルで -1500 V 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。

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、110 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AlGaIn層。

請求の範囲

[請求項1]

n型窒化物半導体層（105, 106）と、
前記n型窒化物半導体層（105, 106）上に設けられた窒化物半導体活性層（107）と、
前記窒化物半導体活性層（107）上に設けられたp型窒化物半導体層（108, 109, 110, 111）と、を備え、
前記p型窒化物半導体層（108, 109, 110, 111）は、前記窒化物半導体活性層（107）側から、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、第3のp型窒化物半導体層（110）と、をこの順序で含み、
前記第1のp型窒化物半導体層（108）および前記第2のp型窒化物半導体層（109）はそれぞれAlを含んでおり、
前記第1のp型窒化物半導体層（108）の平均Al組成と、前記第2のp型窒化物半導体層（109）の平均Al組成とは同等であり、
前記第3のp型窒化物半導体層（110）は、前記第2のp型窒化物半導体層（109）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（109）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（110）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（108）のp型不純物濃度よりも低い、窒化物半導体発光素子（100）。

[請求項2]

前記p型窒化物半導体層（108, 109, 110, 111）は、前記第3のp型窒化物半導体層（110）の前記窒化物半導体活性層（107）の設置側とは反対側に第4のp型窒化物半導体層（111）をさらに含み、
前記第4のp型窒化物半導体層（111）は、前記第2のp型窒化物半導体層（109）よりもバンドギャップが小さく、
前記第4のp型窒化物半導体層（111）のp型不純物濃度は、前

記第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、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子(100)。

[請求項3] 前記窒化物半導体活性層(107)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(108, 109, 110, 111)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に記載の窒化物半導体発光素子(100)。

[請求項4] 前記n型窒化物半導体層(105, 106)は、n型窒化物半導体コンタクト層(105)と、n型窒化物半導体超格子層(106)と、を含み、

前記n型窒化物半導体超格子層(106)は、前記n型窒化物半導体コンタクト層(105)と、前記窒化物半導体活性層(107)との間に位置して、

前記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、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子(100)。

[請求項5] n型窒化物半導体層(105, 106)上に窒化物半導体活性層(107)を気相成長させる工程と、

前記窒化物半導体活性層(107)上にAlを含む第1のp型窒化物半導体層(108)を気相成長させる工程と、

前記第1のp型窒化物半導体層(108)上に前記第1のp型窒化物半導体層(108)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(109)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(109)上に前記第1のp型窒化物半導体層(108)よりも平均Al組成が小さい第3のp型窒化物半導体層(110)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(109)および前記第3のp型窒化物半導体層(110)はそれぞれ、前記第1のp型窒化物半導体層(108)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(100)の製造方法。

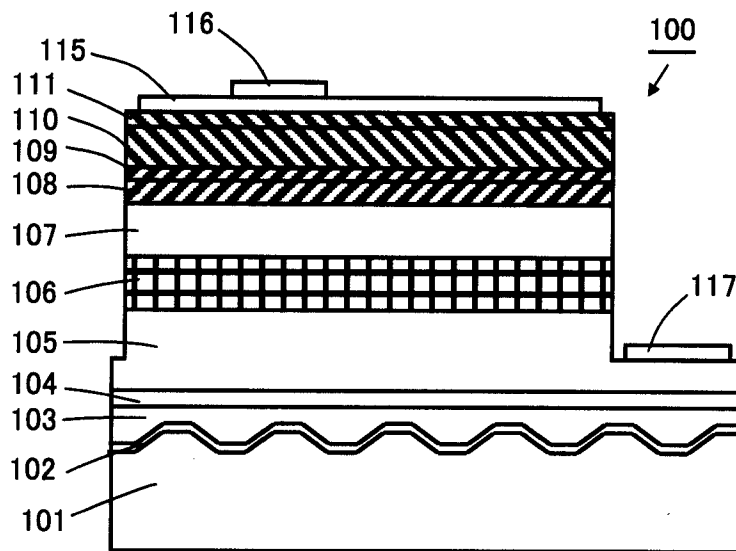
[請求項6] 前記第2のp型窒化物半導体層(109)を気相成長させる工程の後であって、前記第3のp型窒化物半導体層(110)を気相成長させる工程の前に、気相成長が中断される、請求項5に記載の窒化物半導体発光素子(100)の製造方法。

[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(100)の製造方法。

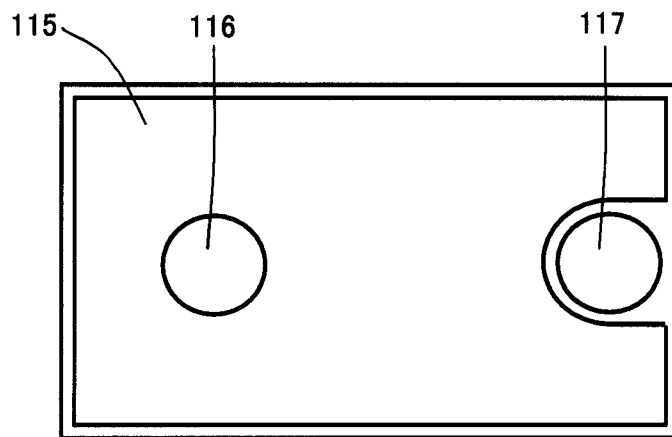
[請求項8] 前記第3のp型窒化物半導体層(110)を気相成長させる工程の後に、前記第3のp型窒化物半導体層(110)上に前記第3のp型窒化物半導体層(110)よりも高濃度にp型不純物をドーピングした第4の窒化物半導体層(111)を気相成長させる工程をさらに含む、請求項5に記載の窒化物半導体発光素子(100)の製造方法。

[請求項9] 前記窒化物半導体活性層(207)と前記第1のp型窒化物半導体層(208)との間にAlを含む窒化物半導体層(218)をさらに含む、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子(200)。

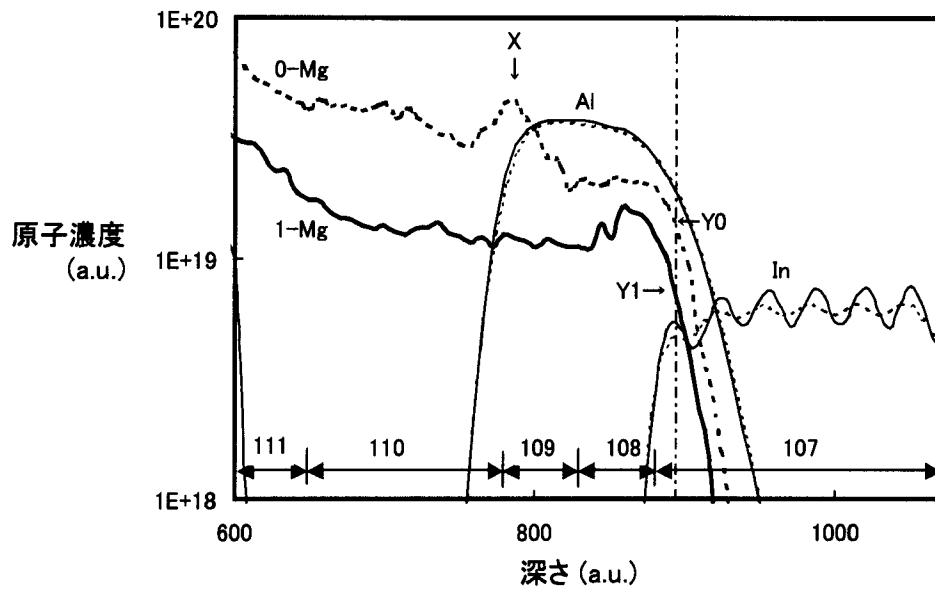
[図1]



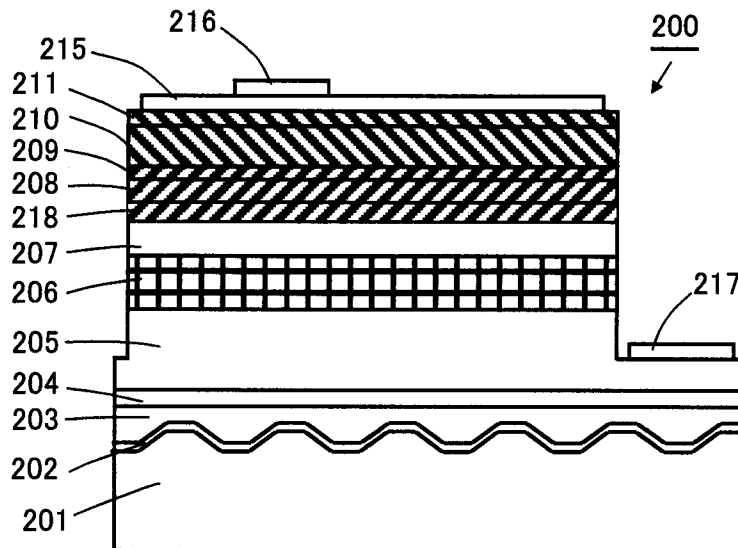
[図2]



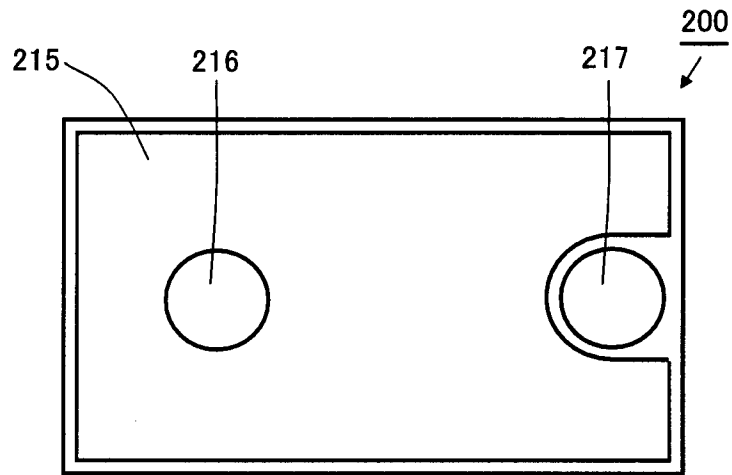
[図3]



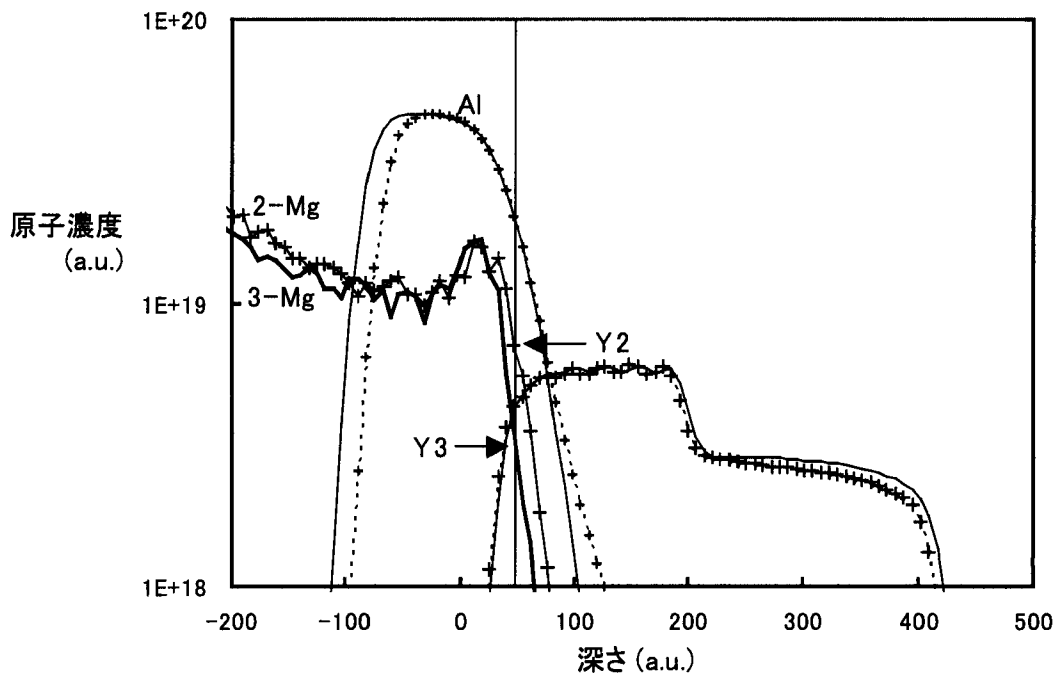
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053358

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32(2010.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-148507 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 29 May 2001 (29.05.2001), paragraphs [0028] to [0136]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-9
Y	JP 8-148718 A (Toshiba Corp.), 07 June 1996 (07.06.1996), paragraphs [0082] to [0087]; fig. 7 (Family: none)	1-9
Y	JP 2000-164922 A (Sharp Corp.), 16 June 2000 (16.06.2000), paragraphs [0015] to [0044]; fig. 1, 5 (Family: none)	1-9

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 March, 2011 (24.03.11)Date of mailing of the international search report
05 April, 2011 (05.04.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053358

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-15809 A (Toshiba Corp.), 19 January 2001 (19.01.2001), paragraph [0044] (Family: none)	1-9
Y	JP 2002-84038 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 22 March 2002 (22.03.2002), paragraph [0023] & US 2002/0053676 A1 & US 2003/0205736 A1 & US 2005/0098789 A1 & US 2006/0131604 A1 & US 2008/0029758 A1 & US 2010/0252811 A & EP 1313187 A1 & EP 2113974 A1 & WO 2002/005399 A1 & DE 60139785 D & AU 6945901 A & CA 2415056 A & TW 587355 B & TW 258904 B & TW 259634 B & KR 10-2006-0089758 A & KR 10-2006-0090308 A CN 1440579 A	3
Y	JP 2007-201424 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 09 August 2007 (09.08.2007), paragraphs [0010] to [0025]; fig. 2 (Family: none)	4
Y	JP 7-283140 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 27 October 1995 (27.10.1995), paragraph [0002] (Family: none)	6,7
Y	JP 2005-26414 A (Sharp Corp.), 27 January 2005 (27.01.2005), paragraph [0025] (Family: none)	8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/32(2010.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2001-148507 A (日亜化学工業株式会社) 2001.05.29, 【0028】 - 【0136】 欄、図1-3 (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 8-148718 A (株式会社東芝) 1996.06.07, 【0082】 - 【0087】 欄、図7 (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 2000-164922 A (シャープ株式会社) 2000.06.16, 【0015】 - 【0044】 欄、図1, 5 (ファミリーなし)	1-9

C欄の続きにも文献が列举されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

24.03.2011

国際調査報告の発送日

05.04.2011

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K

8826

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2001-15809 A (株式会社東芝) 2001.01.19, 【0044】欄 (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 2002-84038 A (日亜化学工業株式会社) 2002.03.22, 【0023】欄 & US 2002/0053676 A1 & US 2003/0205736 A1 & US 2005/0098789 A1 & US 2006/0131604 A1 & US 2008/0029758 A1 & US 2010/0252811 A & EP 1313187 A1 & EP 2113974 A1 & WO 2002/005399 A1 & DE 60139785 D & AU 6945901 A & CA 2415056 A & TW 587355 B & TW 258904 B & TW 259634 B & KR 10-2006-0089758 A & KR 10-2006-0090308 A & CN 1440579 A	3
Y	JP 2007-201424 A (三菱電機工業株式会社) 2007.08.09, 【0010】 - 【0025】欄、図2 (ファミリーなし)	4
Y	JP 7-283140 A (日本電信電話株式会社) 1995.10.27, 【0002】欄 (ファミリーなし)	6, 7
Y	JP 2005-26414 A (シャープ株式会社) 2005.01.27, 【0025】欄 (ファミリーなし)	8