

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

electrode; the p-type contact layer has a thickness of from 20 nm to 80 nm (inclusive); and the Al composition ratio x of the p-type contact layer satisfies formula (1). In formula (1), λ_p represents the central emission wavelength (nm).

(57) 要約：従来よりも発光出力を維持することのできる信頼性の向上したIII族窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供する。本発明のIII族窒化物半導体発光素子は、基板上に、n型半導体層、発光層、p型電子ブロック層、 $Al_xGa_{1-x}N$ よりなるp型コンタクト層およびp側反射電極をこの順に備え、前記発光層からの中心発光波長は265 nm以上330 nm以下であり、前記p型コンタクト層は前記p側反射電極と接し、かつ、前記p型コンタクト層の厚さが20 nm以上80 nm以下であり、前記p型コンタクト層のAl組成比xが下記式(1)を満たす。ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

明 細 書

発明の名称： III族窒化物半導体発光素子およびその製造方法 技術分野

[0001] 本発明は、III族窒化物半導体発光素子およびその製造方法に関し、特に、高い発光出力を維持することのできる信頼性の向上したIII族窒化物半導体発光素子およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] Al, Ga, InなどとNとの化合物からなるIII族窒化物半導体は、直接遷移型バンド構造をもつワイドバンドギャップ半導体であり、殺菌、浄水、医療、照明、高密度光記録などの幅広い応用分野が期待される材料である。特に、発光層にIII族窒化物半導体を用いた発光素子は、III族元素の含有比率を調整することで深紫外光から可視光領域までをカバーすることができ、種々の光源への実用化が進められている。

[0003] 一般的な深紫外発光のIII族窒化物半導体発光素子は、サファイアやAlN単結晶等の基板上に、バッファ層を介してn型半導体層、発光層、p型半導体層を順次形成し、さらに、n型半導体層と電氣的に接続するn側電極、p型半導体層と電氣的に接続するp側電極をそれぞれ形成することにより得られる。また、p型半導体層のp側電極側には、オーミック接触をとるため、ホール濃度を高めやすいp型GaNコンタクト層を形成するのが一般的である。また、発光層には、III族窒化物半導体からなる障壁層と井戸層とを交互に積層した多重量子井戸(MQW)構造を用いることが一般的である。

[0004] ここで、III族窒化物半導体発光素子に要求される特性の一つは、高い外部量子効率特性である。外部量子効率は、(i)内部量子効率、(ii)電子流入効率、および(iii)光取り出し効率によって定まる。

[0005] 特許文献1では、AlGaN混晶のp型コンタクト層と、発光層からの放射光に対し反射性を示す反射電極とを備える、基板側を光取り出し方向とする紫外発光ダイオードが開示されている。特許文献1によれば、短波長の光

に対しては、AlGaInよりなるp型コンタクト層のAl組成比を高くするほど、p型コンタクト層の透過率を高くすることができる。そこで、特許文献1では、従来一般的であったGaInよりなるp型コンタクト層に替えて、発光波長に応じた透過率を有するAlGaInよりなるp型コンタクト層を用いることを提案している。特許文献1によれば、AlGaInよりなるp型コンタクト層によってホール濃度が低下したとしても、放射光に対するp型コンタクト層の透過率が高まるために光取り出し効率の大幅な改善が得られ、全体としての外部量子効率が向上する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2015-216352号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1によれば、放射光に対するp型コンタクト層の透過率は高ければ高いほど好ましいとされる。そこで、本発明者がこの知見を検討したところ、中心発光波長に対するp型コンタクト層の透過率を高めるために、AlGaInよりなるp型コンタクト層のAl組成比を過剰にした場合、以下の現象が発生し得ることが実験的に明らかとなった。すなわち、III族窒化物半導体発光素子の中心発光波長と、p型コンタクト層との関係によっては、従来技術に比べて発光出力の高いIII族窒化物半導体素子を得ることは可能であるものの、こうして作製したIII族窒化物半導体発光素子のサンプルの一部には、初期の発光出力から半減するほどに発光出力が突然劣化する現象の発生が確認された。このように発光出力が突然劣化する現象を、本明細書において「頓死」と称することとする。具体的には、III族窒化物半導体発光素子のサンプルを20mAで通電して初期の発光出力を測定し、次いで100mAで3秒間通電した後、再度20mAで測定したときに、初期の発光出力に対して半減以上の出力低下が確認されたサンプルは頓死が発生したものとする。

[0008] このような頓死の発生は、Ga_{1-x}N_xよりなるp型コンタクト層を用いた従来のIII族窒化物半導体素子では確認されなかったものである。そして、こうした頓死の発生し得るIII族窒化物半導体素子では、発光出力が改善されていたとしても、信頼性が低く、製品化には到底耐えない。

[0009] そこで、本発明の目的は、従来よりも発光出力を高くすることができ、かつ、信頼性のあるIII族窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者は、上記課題を解決する方途について鋭意検討した。本発明者は、III族窒化物半導体発光素子の中心発光波長と、Al_{1-x}Ga_xNよりなるp型コンタクト層との関係に着目し、両者が適切な関係式を満たす場合、上述した頓死が発生せず、さらに、従来よりも発光出力、すなわち外部量子効率を改善できることを実験的に明らかにした。こうして、中心発光波長に対して適切なAl_{1-x}Ga_xNよりなるp型コンタクト層を設けることで、従来よりも発光出力を高くでき、かつ、信頼性のあるIII族窒化物半導体発光素子が得られることを本発明者は知見した。この知見は発光波長270nm以上310nm以下のIII族窒化物半導体発光素子に適用可能であり、さらに、発光波長270nm以上330nm以下のIII族窒化物半導体発光素子にも適用可能であることが実験的に確認された。こうして、本発明者は本発明を完成するに至った。

[0011] すなわち、本発明の要旨構成は以下の通りである

[1] 基板上に、n型半導体層、発光層、p型電子ブロック層、Al_{1-x}Ga_xNよりなるp型コンタクト層およびp側反射電極をこの順に備えるIII族窒化物半導体発光素子であって、

前記発光層からの中心発光波長は270nm以上330nm以下であり、

前記p型コンタクト層は前記p側反射電極と接し、かつ、前記p型コンタクト層の厚さが20nm以上80nm以下であり、

前記p型コンタクト層のAl組成比xが下記式(1)を満たすことを特徴

とするIII族窒化物半導体発光素子。

[数1]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[0012] [2] 基板上に、n型半導体層、発光層、p型電子ブロック層、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなるp型コンタクト層およびp側反射電極をこの順に備えるIII族窒化物半導体発光素子であって、

前記発光層からの中心発光波長は270nm以上310nm以下であり、

前記p型コンタクト層は前記p側反射電極と接し、かつ、前記p型コンタクト層の厚さが20nm以上80nm以下であり、

前記p型コンタクト層のAl組成比xが下記式(1)を満たすことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

[数2]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[0013] [3] 前記p型コンタクト層は、前記p側反射電極と接する側にMg濃度が $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の高濃度領域を有する、前記[1]または[2]に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

[0014] [4] 前記p型コンタクト層のAl組成比xが下記式(2)を満たす、前記[1]～[3]のいずれかに記載のIII族窒化物半導体発光素子。

[数3]

$$2.14 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.24 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (2)}$$

ただし、上記式(2)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[0015] [5] 基板上にn型半導体層、発光層およびp型電子ブロック層を順次形成する工程と、

前記p型電子ブロック層上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなるp型コンタクト層を

形成する p 型コンタクト層形成工程と、

前記 p 型コンタクト層の直上に p 側反射電極を形成する工程と、

を含む III 族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、

前記発光層からの中心発光波長を 270 nm 以上 330 nm 以下とし、

前記 p 型コンタクト層形成工程において、前記 p 型コンタクト層の厚さを 20 nm 以上 80 nm 以下とし、さらに、前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式 (1) を満たすよう、前記 p 型コンタクト層を形成することを特徴とする III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[数4]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式 (1) 中、 λ_p は前記中心発光波長 (nm) である。

[0016] [6] 基板上に n 型半導体層、発光層および p 型電子ブロック層を順次形成する工程と、

前記 p 型電子ブロック層上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる p 型コンタクト層を形成する p 型コンタクト層形成工程と、

前記 p 型コンタクト層の直上に p 側反射電極を形成する工程と、

を含む III 族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、

前記発光層からの中心発光波長を 270 nm 以上 310 nm 以下とし、

前記 p 型コンタクト層形成工程において、前記 p 型コンタクト層の厚さを 20 nm 以上 80 nm 以下とし、さらに、前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式 (1) を満たすよう、前記 p 型コンタクト層を形成することを特徴とする III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[数5]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式 (1) 中、 λ_p は前記中心発光波長 (nm) である。

[0017] [7] 前記 p 型コンタクト層形成工程は、III 族原料ガス、V 族原料ガスおよび Mg 原料ガスの供給により $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる層を結晶成長させる第

1 工程と、該第 1 工程の終了直後に、前記 III 族原料ガスの流量を前記第 1 工程の流量の $1/4$ 以下に下げると共に、前記第 1 工程に引き続き前記 V 族原料ガスおよび前記 M g 原料ガスを 1 分以上 20 分以下供給する第 2 工程と、を含む、前記 [5] または [6] に記載の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、従来よりも発光出力を高くすることができ、かつ、信頼性のある III 族窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の一実施形態に従う III 族窒化物半導体発光素子 100 を説明する模式断面図である。

[図2]本発明の一実施形態に従う III 族窒化物半導体発光素子 100 の製造方法を説明する模式断面図である。

[図3]本発明に従う III 族窒化物半導体発光素子の製造方法の好適実施形態を説明する模式断面図である。

[図4]実施例の実験例 1 における、III 族窒化物半導体発光素子の中心発光波長と p 型コンタクト層の A l 組成比との対応関係を示すグラフである。

[図5]実施例の実験例 3 における、III 族窒化物半導体発光素子の中心発光波長と p 型コンタクト層の A l 組成比との対応関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明に従う実施形態の説明に先立ち、以下の点について予め説明する。

まず、本明細書において A l 組成比を明示せずに単に「A l G a N」と表記する場合は、III 族元素 (A l, G a の合計) と N との化学組成比が 1 : 1 であり、III 族元素 A l と G a との比率は不定の任意の化合物を意味するものとする。この場合、III 族元素である I n についての表記がなくとも、III 族元素としての A l と G a に対して 5 % 以内の量の I n を含んでいてもよいこととする。また、単に「A l N」または「G a N」と表記する場合は、それぞ

れGaおよびAlは組成比に含まないことを意味するが、単に「AlGaIn」と表記することによって、AlInまたはGaInのいずれかであることを排除するものではない。なお、Al組成比の値は、フォトルミネッセンス測定およびX線回折測定などによって測定することができる。

[0021] また、本明細書において、電氣的にp型として機能する層をp型層と称し、電氣的にn型として機能する層をn型層と称する。一方、MgやSi等の特定の不純物を意図的には添加しておらず、電氣的にp型またはn型として機能しない場合、「i型」または「アンドープ」と言う。アンドープの層には、製造過程における不可避免的な不純物の混入はあってよく、具体的には、キャリア密度が小さい（例えば $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満）場合、本明細書において「アンドープ」と称する。また、MgやSi等の不純物濃度の値は、SIMS分析によるものとする。

[0022] また、エピタキシャル成長により形成される各層の厚さ全体は、光干渉式膜厚測定器を用いて測定することができる。さらに、各層の厚さのそれぞれは、隣接する各層の組成が十分異なる場合（例えばAl組成比が、0.01以上異なる場合）、透過型電子顕微鏡による成長層の断面観察から算出できる。また、隣接する層のうち、Al組成比が同一であるか、または、ほぼ等しい（例えば0.01未満）ものの、不純物濃度の異なる層の境界および厚さについては、両者の境界ならびに各層の厚さは、TEM-EDSに基づく測定によるものとする。そして、両者の不純物濃度は、SIMS分析により測定できる。また、超格子構造のように各層の厚さが薄い場合にはTEM-EDSを用いて厚さを測定することができる。

[0023] 以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、同一の構成要素には原則として同一の参照番号を付して、説明を省略する。また、各図において、説明の便宜上、基板および各層の縦横の比率を実際の比率から誇張して示している

[0024] [第1実施形態]

（実施形態：III族窒化物半導体発光素子100）

図1に示すように、本発明の一実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子100は、基板10上に、n型半導体層30、発光層40、p型電子ブロック層60、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなるp型コンタクト層70およびp側反射電極80をこの順に備える。そして、発光層40からの中心発光波長は270nm以上310nm以下である。さらに、p型コンタクト層70は、p側反射電極80と接し、かつ、p型コンタクト層70の厚さが20nm以上80nm以下であり、p型コンタクト層70のAl組成比xが下記式(1)を満たす。

[数6]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[0025] 以下、図1を参照しつつ、本実施形態に従うIII族窒化物半導体素子100の要部となる上述した各構成の詳細をまず説明する。なお、図1に図示される上記構成以外の具体的態様については後述する。

[0026] <基板>

基板10としては、発光層40による発光を透過することのできる基板を用いることが好ましく、例えばサファイア基板または単結晶AlN基板などを用いることができる。また、基板10として、サファイア基板の表面にアンドープのAlN層をエピタキシャル成長させたAlNテンプレート基板を用いてもよい。

[0027] <n型半導体層>

n型半導体層30は基板10上に設けられる。n型半導体層30は、一般的なn型層とすることができ、例えばAlGaInNよりなることができる。n型半導体層30には、n型のドーパントがドーピングされることでn型層として機能し、n型ドーパントの具体例として、Si, Ge, Sn, S, O, Ti, Zr等を挙げることができる。n型ドーパントのドーパント濃度は、n型として機能することのできるドーパント濃度であれば特に限定されず、例え

ば $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3 \sim 1.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ とすることができる。また、 n 型半導体層 30 が AlGaIn よりなる場合、その Al 組成比は、特に制限はなく、一般的な範囲とすることができる。また、 n 型半導体層 30 を単層または複数層から構成することもできる。

[0028] <発光層>

発光層 40 は n 型半導体層 30 上に設けられる。また、本実施形態における発光層 40 は、当該発光層 40 による発光の中心発光波長が 270 nm 以上 310 nm 以下となるように設けられる。発光層 40 を AlGaIn の単層構造により形成する場合、中心発光波長が 270 nm 以上 310 nm 以下となるよう、発光層 40 の Al 組成比 a を、 $0.29 \leq a \leq 0.55$ の範囲内から設定することができる。この場合、発光層 40 の組成は $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{In}$ と表すことができる。

[0029] また、上述のように発光層 40 を単層構造により構成してもよいが、発光層 40 を Al 組成比の異なる AlGaIn よりなる井戸層 41 および障壁層 42 を繰り返し形成した多重量子井戸 (MQW: Multiple Quantum Well) 構造で構成することが好ましい。この場合、井戸層 41 の Al 組成比 w は、中心発光波長が 270 nm 以上 310 nm 以下となるよう、例えば $0.29 \leq w \leq 0.55$ の範囲内から設定することができる。また、障壁層 42 の Al 組成比 b は、井戸層 41 の Al 組成比 w よりも高く (すなわち、 $b > w$) し、例えば、 $b > w$ の条件の下、障壁層 42 の Al 組成比 b を $0.40 \leq b \leq 1.0$ とすることができる。また、井戸層 41 および障壁層 42 の繰り返し回数は、特に制限されず、例えば $1 \sim 10$ 回とすることができる。発光層 40 の厚さ方向の両端側 (すなわち最初と最後) を障壁層とすることが好ましく、井戸層 41 および障壁層 42 の繰り返し回数を n とすると、この場合は「 $n.5$ 組の井戸層および障壁層」と表記することとする。また、井戸層 41 の厚さを $0.5 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ 、障壁層 42 の厚さを $3 \text{ nm} \sim 30 \text{ nm}$ とすることができる。

[0030] <p 型電子ブロック層>

p型電子ブロック層60は、発光層40上に設けられる。p型電子ブロック層60は電子を堰止めし、電子を発光層40（MQW構造の場合には井戸層41）内に注入して、電子の注入効率を高めるための層として用いられる。この目的のため、p型電子ブロック層60のAl組成比 z を、 $0.5 \leq z \leq 0.95$ とすることが好ましい。なお、Al組成比 z が0.5以上であれば、p型電子ブロック層60はIII族元素としてのAlとGaに対して5%以内の量のInを含んでいてもよい。ここで、発光層40が前述の障壁層42を有する多重量子構造である場合、Al組成比 z は上記条件を満足しつつ、障壁層42のAl組成比 b およびp型コンタクト層70のAl組成比 x よりも高くするものとする。すなわち、 $z > b$ であり、さらに、 $z > x$ である。ここで、p型電子ブロック層60のAl組成比 z および障壁層42のAl組成比 b の両者に関し、 $0 < z - b \leq 0.55$ を満足することが好ましく、 $0.1 \leq z - b \leq 0.55$ を満足することがより好ましい。こうすることで、p型電子ブロック層60が井戸層41への電子の注入効率を確実に高めることができる。なお、p型電子ブロック層60は、AlGaIn組成比が一定の単一層構造とすることが好ましい。

[0031] p型電子ブロック層60の厚さは特に制限されないが、例えば10nm～80nmとすることが好ましい。p型電子ブロック層60の厚さがこの範囲であれば、高い発光出力を確実に得ることができる。なお、p型電子ブロック層60の厚さは、障壁層42の厚さよりは厚いことが好ましい。また、p型電子ブロック層60にドーピングするp型ドーパントとしては、Mg, Zn, Ca, Be, Mn等を例示することができ、Mgを用いることが一般的である。p型電子ブロック層60のドーパント濃度は、p型層として機能することのできるドーパント濃度であれば特に限定されず、例えば $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3 \sim 5.0 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ とすることができ。

[0032] <p型コンタクト層>

p型コンタクト層70は、p型電子ブロック層60上に設けられる。p型

コンタクト層 70 は、この上に設けられる p 側反射電極 80 と p 型電子ブロック層 60 との間の接触抵抗を低減するための層である。なお、本明細書において、p 型コンタクト層 70 が p 側反射電極 80 と接するとは、p 型コンタクト層 70、p 側反射電極 80 との間に、製造上不可避免的な不純物以外の所期の構成が存在しないことを意味する。

[0033] ここで、既述のとおり、p 型コンタクト層 70 は $Al_xGa_{1-x}N$ よりなり、p 型コンタクト層 70 の厚さは 20 nm 以上 80 nm 以下とする。そして、p 型コンタクト層 70 の Al 組成比 x が下記式 (1) を満たすものとする。p 型コンタクト層 70 がこの条件を満足することの技術的意義については、p 側反射電極 80 の詳細と併せて説明する。

[数7]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式 (1) 中、 λ_p は III 族窒化物半導体発光素子 100 の中心発光波長 (nm) である。したがって、 $270 \leq \lambda_p \leq 310$ である。

[0034] <p 側反射電極>

p 側反射電極 80 は、p 型コンタクト層 70 上に接して設けられる。p 側反射電極 80 は、発光層 40 からの発光を反射するよう、中心発光波長が 270 nm 以上 310 nm 以下の紫外光に対して高い反射率（例えば 60% 以上）を有する金属を用いる。このような反射率を有する金属として、例えば、ロジウム (Rh)、白金 (Pt)、イリジウム (Ir)、ルテニウム (Ru)、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、タンタル (Ta)、およびこれらのいずれかを少なくとも含有する合金を用いることができる。これらの金属または合金であれば紫外光への反射率が高く、また、p 型コンタクト層 70 と、p 側反射電極 80 とで比較的良好なオーミック接触を取ることにもできる。なお、反射率の観点では、これらの中でも、p 側反射電極 80 がロジウム (Rh) を単体または合金の形態で含むことが好ましい。また、p 側反射電極 80 の厚さ、形状およびサイズは、III 族窒化物半導体発光素子 1

00の形状およびサイズに応じて適宜選択することができ、例えばp側反射電極80の厚さを30～45nmとすることができる。

[0035] さて、p型コンタクト層70のAl組成比xが比較的低い場合、p型コンタクト層70は発光層40からの発光をほとんど吸収してしまうため、p側反射電極80による反射起因での光取り出し効果はほとんど期待できない。中心発光波長 λ_p が短波長になるほど、p型コンタクト層70による吸収は顕著となる。一方、p型コンタクト層70のAl組成比xが高くなると、p型コンタクト層70が発光層40からの発光を透過するため、p側反射電極80からの反射に起因して光取り出し効率が高まる。しかしながら、p型コンタクト層70のAl組成比xが高い場合、p型コンタクト層70の接触抵抗が高くなってしまうため、p型コンタクト層70と、p側反射電極80とで良好なオーミック接触が得がたくなってしまい、結果として順方向電圧(V_f)の増大や頓死の発生率の増大を招く。

[0036] このような原因が背景にあると思われるが、本発明者らの実験により、Al組成比xが上記式(1)の上限範囲を超えると、頓死が発生することが確認された。一方、Al組成比xが上記式(1)の下限範囲を超える場合、従来技術のp型GaNコンタクト層に比べると、p型コンタクト層70のホール濃度が低下する。さらに、発光層40からの発光もp型コンタクト層70の透過率が十分に高いとは言えないため、発光の吸収が発生し、出力向上効果を得ることができない。そこで、Al組成比xが上記式(1)の範囲を満足するようにすれば、p型コンタクト層70の比抵抗は高くなるものの、p型コンタクト層70の透過率を高くすることができ、さらに、発光層40からの発光の透過距離を規制することによって発光出力向上効果を楽しむことができる。したがって、p型コンタクト層70のAl組成比xが下記式(1)を満足させつつ、p型コンタクト層70の厚さを20nm以上80nm以下とすることで、従来よりも発光出力を高くでき、かつ、信頼性のあるIII族窒化物半導体発光素子が得られる。

[0037] また、上記作用効果を確実に得るため、p型コンタクト層のAl組成比x

が下記式（２）を満たすことが好ましい。

[数8]

$$2.14 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.24 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (2)}$$

ただし、上記式（２）中、 λ_p は前述の中心発光波長（nm）である。

[0038] さらに、上記作用効果を確実に得るため、p型コンタクト層70の厚さを30nm以上とすることが好ましく、40nm以上とすることがより好ましい。さらに、p型コンタクト層70の厚さを70nm以下とすることが好ましく、60nm以下とすることがより好ましい。

[0039] また、図1に示すように、p型コンタクト層70は、p側反射電極80と接する側に、Mg濃度が $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の高濃度領域72を有することが好ましく、この高濃度領域72におけるMg濃度が $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であることがより好ましい。p型コンタクト層70のホール濃度を高めて順方向電圧Vfを低下することができる。上限の限定を意図しないが、工業的生産性を考慮すれば、本実施形態においては高濃度領域72におけるMg濃度の上限を $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ とすることができる。この場合、p型コンタクト層70におけるp型電子ブロック層60側の領域71のMg濃度は一般的な範囲とすることができ、通常 $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 未満である。なお、領域71および高濃度領域72におけるMg濃度は、SIMS測定による各領域での平均濃度である。p型コンタクト層70の結晶性を保つため、高濃度領域72の厚さは、通常15nm以下である。

[0040] 以上のとおり、本実施形態により、従来よりも発光出力を高くすることができ、かつ、信頼性のあるIII族窒化物半導体発光素子を提供することができる。このIII族窒化物半導体発光素子は、p側反射電極により発光が反射されるので、基板側または基板水平方向を主な光取り出し方向とすることができる。

[0041] 以下、本実施形態に適用可能な具体的態様について述べるが、本実施形態は以下の態様に限定されない。

[0042] <バッファ層>

図1に示すように、基板10と、n型半導体層30との間に、両者の格子定数の差に起因する歪みを緩和するためのバッファ層20を設けることも好ましい。バッファ層20は、AlNまたはAlGa_{1-x}Nよりなることが好ましい。なお、基板10として前述のAlNテンプレート基板を用いる場合、AlNテンプレート基板の表面部のAlN層がバッファ層20に相当するが、当該AlN層上に、さらにバッファ層20としてAlGa_{1-x}N層を形成してもよい。

[0043] <n側電極>

また、n型半導体層30の露出面上に設けられ得るn側電極90は、例えばTi含有膜およびこのTi含有膜上に形成されたAl含有膜を有する金属複合膜とすることができ、その厚さ、形状およびサイズは、発光素子の形状およびサイズに応じて適宜選択することができる。n側電極90は、図1に示すような、n型半導体層30の露出面上への形成に限定されず、n型半導体層と電氣的に接続していればよい。

[0044] <その他の構成>

なお、図1には図示しないが、発光層40と、p型電子ブロック層60との間に、p型電子ブロック層60のAl組成比 z よりもAl組成比の高いIII族窒化物半導体層からなるガイド層を設けてもよい。ガイド層を設けることで、発光層40への正孔の注入を促進することができる。

[0045] (III族窒化物半導体発光素子の製造方法)

次に、上述したIII族窒化物半導体発光素子100の製造方法の一実施形態を、図2を用いて説明する。本発明に従うIII族窒化物半導体発光素子100の製造方法の一実施形態は、基板10上にn型半導体層30、発光層40およびp型電子ブロック層60を順次形成する工程(図2(A),(B))と、p型電子ブロック層60上にAl_xGa_{1-x}Nよりなるp型コンタクト層70を形成するp型コンタクト層形成工程(図2(C))と、p型コンタクト層70の直上にp側反射電極80を形成する工程(図2(D))と、を含む

。また、発光層40からの中心発光波長を270nm以上310nm以下とする。そして、図2(C)に示すp型コンタクト層形成工程において、前記p型コンタクト層の厚さを20nm以上80nm以下とし、さらに、前記p型コンタクト層のAⅠ組成比xが下記式(1)を満たすよう、p型コンタクト層70を形成する。

[数9]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[0046] 以下、本実施形態の好適な実施形態に従うフローチャートを示す図2を用いて、具体的な態様と共に各工程の詳細を順次説明するが、前述の実施形態と重複する説明については省略する。

[0047] まず、図2(A),(B)に示す、基板10上にn型半導体層30、発光層40およびp型電子ブロック層60を順次形成する工程では、有機金属気相成長(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition)法や分子線エピタキシ(MBE: Molecular Beam Epitaxy)法、スパッタ法などの公知のエピタキシャル成長技術により各層を形成することができる。

[0048] n型半導体層30、発光層40およびp型電子ブロック層60の各層の形成にあたり、エピタキシャル成長させるための成長温度、成長圧力、成長時間については、各層のAⅠ組成比および厚さに応じた一般的な条件とすることができる。エピタキシャル成長させるためのキャリアガスとしては、水素ガスもしくは窒素ガス、または両者の混合ガスなどを用いてチャンバ内に供給すればよい。さらに、上記各層を成長させる原料ガスとして、III族元素の原料ガスとしてTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG(トリメチルガリウム)などを用いることができ、V族元素ガスとしてNH₃ガスを用いることができる。NH₃ガスなどのV族元素ガスと、TMAガスなどのIII族元素ガスの成長ガス流量を元に計算されるIII族元素に対するV族元素のモル比(以降、V/III比と記載する)についても、一般的な条件とすればよい。さらにドーパント源のガスとしては、p型ドーパントについては、Mg源としてシク

ロペンタジニエルマグネシウムガス ($\text{C P}_2\text{M g}$) などを、 n 型ドーパントについては、 S i 源として例えばモノシランガス (S i H_4)、 Z n 源としての塩化亜鉛ガス (Z n C l_2) などを適宜選択し、所定の流量でチャンバ内に供給すればよい。

[0049] 次に、図 2 (C) に示す p 型コンタクト層形成工程では、 p 型電子ブロック層 60 上に、 $\text{A l}_x\text{G a}_{1-x}\text{N}$ よりなる p 型コンタクト層 70 を形成する。 p 型コンタクト層 70 の厚さ範囲および A l 組成比 x の条件については既述のとおりである。 p 型コンタクト層 70 も、 M O C V D 法などによるエピタキシャル成長によって形成することができる。

[0050] ここで、 p 型コンタクト層 70 において、 p 側反射電極 80 と接する側の高濃度領域 72 の M g 濃度を $3 \times 10^{20} \text{ a t o m s} / \text{c m}^3$ 以上とするためには、 p 型コンタクト層形成工程が以下の第 1 および第 2 工程を含むことが好ましい。すなわち、 p 型コンタクト層形成工程は、III 族原料ガス、V 族原料ガスおよび M g 原料ガスの供給により $\text{A l}_x\text{G a}_{1-x}\text{N}$ よりなる層を結晶成長させる第 1 工程と、該第 1 工程の終了直後に、前記 III 族原料ガスの流量を前記第 1 工程の流量の $1/4$ 以下に下げると共に、前記第 1 工程に引き続き前記 V 族原料ガスおよび前記 M g 原料ガスを 1 分以上 20 分以下供給する第 2 工程と、を含むことが好ましい。図 3 を用いて、この好適態様を説明する。

[0051] 図 3 (A), (B) に示すように、まず、第 1 工程では、III 族原料ガス、V 族原料ガスおよび M g 原料ガスの供給により $\text{A l}_x\text{G a}_{1-x}\text{N}$ よりなる層を結晶成長させる。この第 1 工程では、一般的な条件により $\text{A l}_x\text{G a}_{1-x}\text{N}$ よりなる p 型コンタクト層 70 をエピタキシャル成長させればよい。続く第 2 工程では、第 1 工程の終了直後に、III 族原料ガスの流量を第 1 工程の流量の $1/4$ 以下に下げる。このとき、第 1 工程に引き続き V 族原料ガスおよび M g 原料ガスを 1 分以上 20 分以下供給するものとする。第 1 工程および第 2 工程を経ることで、 p 型コンタクト層 70 の表層部である領域 71 における M g の存在確率が高まり、 M g の高濃度領域を形成することができる。図 3 (C) では、第 2 工程後に、 M g の高濃度領域 72 が形成されたことを模式的に

示すものである。

[0052] なお、上記第2工程において、III族原料ガスの流量を第1工程の流量の1/10以下に下げることがより好ましく、III族原料ガスの供給を停止することがより好ましい。こうすることで、より確実に高濃度領域72のMg濃度を高めることができる。

[0053] そして、p型コンタクト層70を形成した後、図2(D)、図3(D)に示すように、p型コンタクト層70の直上にp側反射電極80を形成する。p側反射電極80は、スパッタ法や真空蒸着法などにより成膜することができる。

[0054] また、図2(B)～(D)に示すように、バッファ層20を基板10の表面10A上に形成してもよい。さらに、発光層40、p型電子ブロック層60およびp型コンタクト層70の一部をエッチング等により除去し、露出したn型半導体層30上にn側電極90を形成することができる。

[0055] [第2実施形態]

上述の第1実施形態における発光層40からの中心発光波長は270nm以上310nm以下であったものの、本発明は、発光層からの中心発光波長が270nm以上330nm以下のIII族窒化物半導体発光素子にも適用可能である。すなわち、本発明の第2実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子100は、基板10上に、n型半導体層30、発光層40、p型電子ブロック層60、 $Al_xGa_{1-x}N$ よりなるp型コンタクト層70およびp側反射電極80をこの順に備える。そして、発光層40からの中心発光波長は270nm以上330nm以下である。さらに、p型コンタクト層70は、p側反射電極80と接し、かつ、p型コンタクト層70の厚さが20nm以上80nm以下であり、p型コンタクト層70のAl組成比xが前述の式(1)を満たす。図1～図3と重複する構成については、同一の符号を用い、重複する説明を省略する。したがって、前述の式(1)、(2)における λ_p の数値範囲として、 $270 \leq \lambda_p \leq 330$ が適用される。

[0056] また、発光層からの中心発光波長が270nm以上330nm以下である

第2実施形態に従うIII族窒化物半導体発光素子100の製造方法は、基板10上にn型半導体層30、発光層40およびp型電子ブロック層60を順次形成する工程と、p型電子ブロック層60上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなるp型コンタクト層70を形成するp型コンタクト層形成工程と、p型コンタクト層70の直上にp側反射電極80を形成する工程と、を含む。そして、発光層40からの中心発光波長を270nm以上330nm以下とする。また、p型コンタクト層形成工程において、前記p型コンタクト層の厚さを20nm以上80nm以下とし、さらに、前記p型コンタクト層のAl組成比xが前述の式(1)を満たすよう、p型コンタクト層70を形成する。

[0057] なお、発光層40からの中心発光波長を270nm以上330nm以下とするためには、発光層40をAlGaInの単層構造により形成する場合、発光層40のAl組成比aを、 $0.17 \leq a \leq 0.55$ の範囲内から設定すればよい。また、発光層40を井戸層41および障壁層42を含む多重量子井戸構造で構成する場合、井戸層41のAl組成比wを $0.17 \leq w \leq 0.55$ の範囲内としつつ、 $b > w$ の条件の下、障壁層42のAl組成比bを $0.30 \leq b \leq 1.0$ の範囲内から適宜設定すればよい。

実施例

[0058] [実験例1]

(発明例1)

以下、実施例を用いて本発明をさらに詳細に説明するが、本発明は以下の実施例に何ら限定されるものではない。図2に示したフローチャートに従って、発明例1に係るIII族窒化物半導体発光素子を作製した。まず、サファイア基板（直径2インチ、厚さ：430 μm 、面方位：(0001)）を用意した。次いで、MOCVD法により、上記サファイア基板上に中心膜厚0.60 μm （平均膜厚0.61 μm ）のAlN層を成長させ、AlNテンプレート基板とした。その際、AlN層の成長温度は1300℃、チャンバ内の成長圧力は10Torrであり、V/III比が163となるようにアンモニアガスとTMAガスの成長ガス流量を設定した。なお、AlN層の膜厚について

は、光干渉式膜厚測定機（ナノスペックM6100A；ナノメトリックス社製）を用いて、ウェーハ面内の中心を含む、等間隔に分散させた計25箇所の膜厚を測定した。

[0059] 次いで、上記AlNテンプレート基板を熱処理炉に導入し、炉内を窒素ガス雰囲気とした後に、炉内の温度を昇温してAlNテンプレート基板に対して熱処理を施した。その際、加熱温度は1650℃、加熱時間は4時間とした。

[0060] 続いて、MOCVD法により、アンドープの $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ からなる厚さ1μmのバッファ層を形成した。次に、 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ からなり、Siドープした厚さ2μmのn型半導体層を上記バッファ層上に形成した。なお、SIMS分析の結果、n型半導体層のSi濃度は $1.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

[0061] 続いて、n型半導体層上に、 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{N}$ からなる厚さ3nmの井戸層および $\text{Al}_{0.64}\text{Ga}_{0.36}\text{N}$ からなる厚さ7nmの障壁層を交互に3.5組繰り返して積層した発光層を形成した。3.5組の0.5は、発光層の最初と最後を障壁層としたことを表す。

[0062] その後、発光層上に、水素ガスをキャリアガスとして、 $\text{Al}_{0.68}\text{Ga}_{0.32}\text{N}$ からなる厚さ40nmのp型電子ブロック層を形成した（図3（H））。p型電子ブロック層の形成にあたり、Mg源として $\text{C}_2\text{P}_2\text{Mg}$ ガスをチャンバに供給してMgをドープした。なお、SIMS分析の結果、p型電子ブロック層のMg濃度は $5.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

[0063] 続いて、 $\text{Al}_{0.56}\text{Ga}_{0.44}\text{N}$ からなるp型コンタクト層を形成し、その厚さを50nmとした。III族源のTMAガス、TMGガス、およびV族源のアンモニアガスと共にMg源として $\text{C}_2\text{P}_2\text{Mg}$ ガスをチャンバに供給してMgをドープしたp型コンタクト層を成長するまでを、p型コンタクト層形成の第1工程とする（図3（B））。その後、図3（C）に示すように第2工程としてIII族源ガスの供給のみ停止し、Mg源ガスおよびV族源ガスのみを10.5分間供給し、p型コンタクト層の表面側に高濃度領域を形成した。

[0064] なお、上記 p 型コンタクト層の Al 組成の特定に際しては、フォトルミネッセンス測定により分析された p 型コンタクト層の発光波長（バンドギャップエネルギー）から p 型コンタクト層の Al 組成を決定した。

[0065] SIMS 分析の結果、p 型コンタクト層において、p 型電子ブロック層側の厚さ 45 nm 部分（領域 71）の Mg 濃度は $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であり、Mg を高濃度とした残り 5 nm 部分（高濃度領域 72）の Mg 濃度は $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

[0066] その後、p 型コンタクト層の上にマスクを形成してドライエッチングによるメサエッチングを行い、n 型半導体層を露出させた。次いで、p 型コンタクト層上に、厚さ 0.04 μm の Rh からなる p 側反射電極をスパッタ法により形成し、露出した n 型半導体層上には、Ti / Al からなる n 側電極を形成した。なお、n 側電極のうち、Ti の厚さは 200 Å であり、Al の厚さは 1500 Å である。最後に 550 °C でコンタクトアニール（RTA）を行った。こうして発明例 1 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した。発明例 1 の層構造を表 1 に示す。

[0067]

[表1]

	Al 組成比	ドーパント	厚さ
p型コンタクト層	0.56	Mg	50nm
p 型 電 子 ブ ロ ッ ク 層	0.68	Mg	40nm
発 光 層	0.64	－	7nm
	0.45	－	3nm
	0.64	Si	7nm
	0.45	－	3nm
	0.64	Si	7nm
	0.45	－	3nm
	0.64	Si	7nm
n 型 半 導 体 層	0.65	Si	2 μ m
アンドープ層	0.70	－	1 μ m
AlN層	1	－	0.6 μ m
サファイア基板	－	－	430 μ m

[0068] (発明例2)

発明例1におけるp型コンタクト層のAl組成比を0.46に変えた以外は、発明例1と同様にして、発明例2に係るIII族窒化物半導体発光素子を作製した。また、SIMS分析の結果、発明例2のp型コンタクト層においても、p型電子ブロック層側の厚さ45nm部分（領域71）のMg濃度は $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であり、第2工程によりMgを高濃度とした残り5nm部分（高濃度領域72）のMg濃度は $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

[0069] (発明例3)

発明例1におけるp型コンタクト層のAl組成比を0.41に変えた以外は、発明例1と同様にして、発明例3に係るIII族窒化物半導体発光素子を作製した。

[0070] (従来例1)

発明例 1 における p 型コンタクト層の Al 組成比を 0（すなわち、Ga N）に変え、さらに厚さを 150 nm に変えた以外は、発明例 1 と同様にして、従来例 1 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した

[0071]（比較例 1）

発明例 1 における p 型コンタクト層の Al 組成比を 0.62 に変えた以外は、発明例 1 と同様にして、発明例 3 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した

[0072]（比較例 2）

発明例 1 における p 型コンタクト層の Al 組成比を 0.35 に変えた以外は、発明例 1 と同様にして、発明例 3 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した

[0073]（比較例 3）

発明例 2 における井戸層を $\text{Al}_{0.29}\text{Ga}_{0.71}\text{N}$ に、障壁層を $\text{Al}_{0.43}\text{Ga}_{0.57}\text{N}$ に変えた以外は、発明例 2 と同様にして、比較例 3 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した

[0074]（発明例 4）

比較例 3 における p 型コンタクト層の Al 組成比を 0.39 に変えた以外は、比較例 3 と同様にして、発明例 4 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した

[0075]（発明例 5）

比較例 3 における p 型コンタクト層の Al 組成比を 0.23 に変えた以外は、比較例 3 と同様にして、発明例 5 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した

[0076]（従来例 2）

比較例 3 における p 型コンタクト層の Al 組成比を 0 に変えた以外は、比較例 3 と同様にして、従来例 2 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した。

[0077] 以上の発明例 1～5、従来例 1，2 および比較例 1～3 の、p 型コンタク

ト層の形成条件を以下の表 2 に示す。

[0078] [表2]

	中心発光波長 λ (nm)	p 型コンタクト層の Al 組成比 x	発光出力 P (mW)	順方向電圧 V (V)	頓死 発生率
比較例 1	280	0.62	7.5	9.3	80%
発明例 1	280	0.56	12.5	9.0	0%
発明例 2	280	0.46	7.9	8.4	0%
発明例 3	280	0.41	6.3	8.3	0%
比較例 2	280	0.35	4.0	8.4	0%
従来例 1	280	0	4.1	8.5	0%
比較例 3	310	0.46	10.7	8.6	10%
発明例 4	310	0.39	10.2	8.9	0%
発明例 5	310	0.23	6.6	9.2	0%
従来例 2	310	0	3.8	8.0	0

[0079] <評価 1>

発明例 1 ～ 3、従来例 1 および比較例 1 ～ 2 から得られた半導体発光素子に定電流電圧電源を用いて 20 mA の電流を流したときの順方向電圧 V_f および積分球による発光出力 P_o を測定し、それぞれ 3 個の試料の測定結果の平均値を求めた。発明例 1 ～ 5、従来例 1、2 および比較例 1 ～ 3 について、結果を表 2 に併せて示す。なお、光ファイバ分光器によって発明例 1 ～ 3、従来例 1 および比較例 1 ～ 2 の中心発光波長を測定したところ、いずれも 280 nm であった。また、発明例 4、5、従来例 2 および比較例 3 の中心発光波長を測定したところ、いずれも 310 nm であった。

[0080] <評価 2>

各発明例、従来例および比較例のサンプルに対して、上記評価 1 と同様にまず 20 mA で通電して発光出力を測り、次いで 100 mA で 3 秒間通電した後、再び 20 mA で通電して発光出力を測り、初期の発光出力に対する発光出力の変化を測定した。100 mA で 3 秒間通電した後の発光出力が初期の発光出力の半分以下にまで下がったもの、すなわち頓死が発生するサンプル数を確認した。頓死の発生率の結果を表 2 に併せて示す。また、III 族窒化物半導体発光素子の中心発光波長 λ_p と p 型コンタクト層の Al 組成比 x との対応関係を示すグラフを図 4 に示す。図 4 のグラフ中、p 型コンタクト層の Al 組成比が実線で囲

まれた領域内にあれば、頓死が発生しないことが確認された。

[0081] 以上の評価結果から、頓死の発生は、p型コンタクト層とp電極との間のコンタクト抵抗に起因するもの考えられる。p型コンタクト層のAl組成が高くなるほど、p電極とのコンタクト抵抗が高くなり、電流集中や電極が破壊されやすくなると考えられる。また、発光層における障壁層のAl組成比に対して、コンタクト層のAl組成比が大きい場合に、頓死が発生することも確認される。したがって、応力による結晶性の違いにも頓死発生の原因と推定される。以上を踏まえると、発光層の障壁層のAl組成比よりも、Al組成比の小さいコンタクト層とすることが好ましいことも確認された。さらに、本発明条件を満足する発明例1～5では、頓死の発生を防止しつつ、p型GaNコンタクト層を用いる従来例に比べて発光出力の大幅な改善が得られることも確認できた

[0082] [実験例2]

(比較例4)

発明例1において、厚さ50nmの $\text{Al}_{0.56}\text{Ga}_{0.44}\text{N}$ からなるp型コンタクト層を形成したのち、さらに厚さ10nmのp型GaN層を形成し、p型GaN層表面に発明例1と同じRhからなるp側反射電極を形成した。ただし、比較例4では発明例1の $\text{Al}_{0.56}\text{Ga}_{0.44}\text{N}$ からなるp型コンタクト層の形成における第2工程は行っていない。その他の条件は、発明例1と同様にして、比較例4に係るIII族窒化物半導体発光素子を作製した

[0083] (発明例6)

発明例2において、p型コンタクト層の形成における第2工程を行わなかった以外は、発明例2と同様にして、発明例6に係るIII族窒化物半導体発光素子を作製した。p型コンタクト層の厚さは50nmであり、SIMS分析の結果、p型コンタクト層のMg濃度は $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であった。

[0084] <評価>

比較例4、発明例6から得られた半導体発光素子に定電流電圧電源を用い

て、実験例 1 と同様にして順方向電圧 V_f および積分球による発光出力 P_o を測定した。また、頓死の発生状況も、実験例 1 と同様にして確認した。実験例 1 の発明例 1, 2 および従来例 1 と併せて、結果を表 3 に示す。

[0085] [表3]

	中心発光波長 λ (nm)	p 型コンタクト層 ※注 1	発光出力 P (mW)	順方向電圧 V (V)	頓死 発生率
発明例 1	280	$Al_{0.56}Ga_{0.44}N$ (50nm)	12.5	9.0	0%
従来例 1	280	GaN (50nm)	4.1	8.5	0%
比較例 4	280	$Al_{0.56}Ga_{0.44}N$ (50nm) /GaN (10nm)	6.1	8.4	0%
発明例 2	280	$Al_{0.46}Ga_{0.54}N$ (50nm)	7.9	8.4	0%
発明例 6	280	$Al_{0.46}Ga_{0.54}N$ (50nm)	7.7	9.2	0%

注 1：括弧内は厚さを意味する。

[0086] 発明例 1、従来例 1 および比較例 4 とを対比すると、p 型 GaN 層を p 側電極側に設けることでも頓死の発生は防げるものの、比較例 4 では発明例 1 に対して発光出力の大幅な低下が見られることが確認された。これは、p 型 GaN 層による光吸収があったからだと考えられる。また、発明例 2 と発明例 6 とを対比すると、発明例 2 では順方向電圧が発明例 6 に比べて小さいことから、Mg 高濃度領域を設けた方が好ましいことが確認された。

[0087] [実験例 3]

(発明例 7)

実験例 1 の発明例 1 における表 1 に記載の各層の層構造を、中心発光波長が 330 nm となるよう、下記表 4 のとおりに変更した以外は、発明例 1 と同様にして発明例 7 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した。なお、p 型コンタクト層の Al 組成 0.27 は、式 (1) における上限値に該当する。

[0088]

[表4]

	Al 組成比	ドーパント	厚さ
p型コンタクト層	0.27	Mg	50nm
p 型 電 子 ブ ロ ッ ク 層	0.58	Mg	40nm
ガイド層	1	－	1nm
発 光 層	0.17	－	3nm
	0.50	Si	7nm
	0.17	－	3nm
	0.50	Si	7nm
	0.17	－	3nm
	0.50	Si	7nm
n 型 半 導 体 層	0.45	Si	2 μ m
アンドープ層	0.55	－	1 μ m
AlN層	1	－	0.6 μ m
サファイア基板	－	－	430 μ m

[0089] (発明例 8)

p 型コンタクト層の Al 組成 x を 0.11 とした以外は、発明例 7 と同様にして発明例 8 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した。なお、p 型コンタクト層の Al 組成 0.11 は、式 1 における下限値である。

[0090] (従来例 3)

p 型コンタクト層の Al 組成 x を 0 とした以外は、発明例 7 と同様にして従来例 3 に係る III 族窒化物半導体発光素子を作製した。

[0091] <評価>

発明例 7、8 および従来例 3 から得られた半導体発光素子のそれぞれに対し、実験例 1 における評価 1 と同様にして積分球による発光出力 P_o を測定した。また、頓死の発生状況についても、実験例 1 における評価 2 と同様にして確認した。下記の表 5 にそれらの結果を示す。また、前述の図 4 により示した結果と併せて、発明例 7、8 および従来例 3 の中心発光波長 λ_p と p 型

コンタクト層の Al 組成比 x との対応関係を図 5 のグラフに示す。

[0092] [表5]

	中心発光波長 λ_p (nm)	pコンタクト層の Al組成比 x	発光出力 (mW)	頓死 発生率
発明例7	330	0.27	3.6	0%
発明例8	330	0.11	1.3	0%
従来例3	330	0	1.0	0%

[0093] 本実験例 3 による表 5 および図 5 の結果より、中心発光波長 λ_p が 330 nm においても p 型コンタクト層の Al 組成比 x が式 (1) の範囲内であれば、従来よりも発光出力を高くすることができ、かつ頓死が起きない信頼性のある発光素子が得られることが確認された。

[0094] したがって、上述の実験例 1 ～ 3 の実験結果に基づき、式 (1) は中心発光波長 λ_p が 270 nm 以上 310 nm 以下の場合に加えて、270 nm 以上 330 nm 以下の場合にも適用可能であると結論付けられる。

産業上の利用可能性

[0095] 本発明によれば、従来よりも発光出力を高くすることができ、かつ、信頼性のある III 族窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供することができるため、有用である。

符号の説明

[0096] 10 基板
 10A 基板の主面
 20 バッファ層
 30 n 型半導体層
 40 発光層
 41 井戸層
 42 障壁層
 60 p 型電子ブロック層
 70 p 型コンタクト層
 71 p 型電子ブロック層側の領域

- 7 2 p側反射電極と接する側の高濃度領域
- 8 0 n側電極
- 9 0 p側反射電極
- 1 0 0 III族窒化物半導体発光素子

請求の範囲

[請求項1]

基板上に、 n 型半導体層、発光層、 p 型電子ブロック層、 $Al_xGa_{1-x}N$ よりなる p 型コンタクト層および p 側反射電極をこの順に備えるIII族窒化物半導体発光素子であって、

前記発光層からの中心発光波長は 270 nm 以上 330 nm 以下であり、

前記 p 型コンタクト層は前記 p 側反射電極と接し、かつ、前記 p 型コンタクト層の厚さが 20 nm 以上 80 nm 以下であり、

前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式(1)を満たすことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

[数1]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式(1)}$$

ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[請求項2]

基板上に、 n 型半導体層、発光層、 p 型電子ブロック層、 $Al_xGa_{1-x}N$ よりなる p 型コンタクト層および p 側反射電極をこの順に備えるIII族窒化物半導体発光素子であって、

前記発光層からの中心発光波長は 270 nm 以上 310 nm 以下であり、

前記 p 型コンタクト層は前記 p 側反射電極と接し、かつ、前記 p 型コンタクト層の厚さが 20 nm 以上 80 nm 以下であり、

前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式(1)を満たすことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

[数2]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式(1)}$$

ただし、上記式(1)中、 λ_p は前記中心発光波長(nm)である。

[請求項3] 前記 p 型コンタクト層は、前記 p 側反射電極と接する側に Mg 濃度が $3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の高濃度領域を有する、請求項 1 または 2 に記載の III 族窒化物半導体発光素子。

[請求項4] 前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式 (2) を満たす、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の III 族窒化物半導体発光素子。

[数3]

$$2.14 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.24 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (2)}$$

ただし、上記式 (2) 中、 λ_p は前記中心発光波長 (nm) である。

[請求項5] 基板上に n 型半導体層、発光層および p 型電子ブロック層を順次形成する工程と、

前記 p 型電子ブロック層上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる p 型コンタクト層を形成する p 型コンタクト層形成工程と、

前記 p 型コンタクト層の直上に p 側反射電極を形成する工程と、を含む III 族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、

前記発光層からの中心発光波長を 270 nm 以上 330 nm 以下とし、

前記 p 型コンタクト層形成工程において、前記 p 型コンタクト層の厚さを 20 nm 以上 80 nm 以下とし、さらに、前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式 (1) を満たすよう、前記 p 型コンタクト層を形成することを特徴とする III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[数4]

$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式 (1) 中、 λ_p は前記中心発光波長 (nm) である。

[請求項6] 基板上に n 型半導体層、発光層および p 型電子ブロック層を順次形

成する工程と、

前記 p 型電子ブロック層上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる p 型コンタクト層を形成する p 型コンタクト層形成工程と、

前記 p 型コンタクト層の直上に p 側反射電極を形成する工程と、を含む III 族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、

前記発光層からの中心発光波長を 270 nm 以上 310 nm 以下とし、

前記 p 型コンタクト層形成工程において、前記 p 型コンタクト層の厚さを 20 nm 以上 80 nm 以下とし、さらに、前記 p 型コンタクト層の Al 組成比 x が下記式 (1) を満たすよう、前記 p 型コンタクト層を形成することを特徴とする III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[数5]

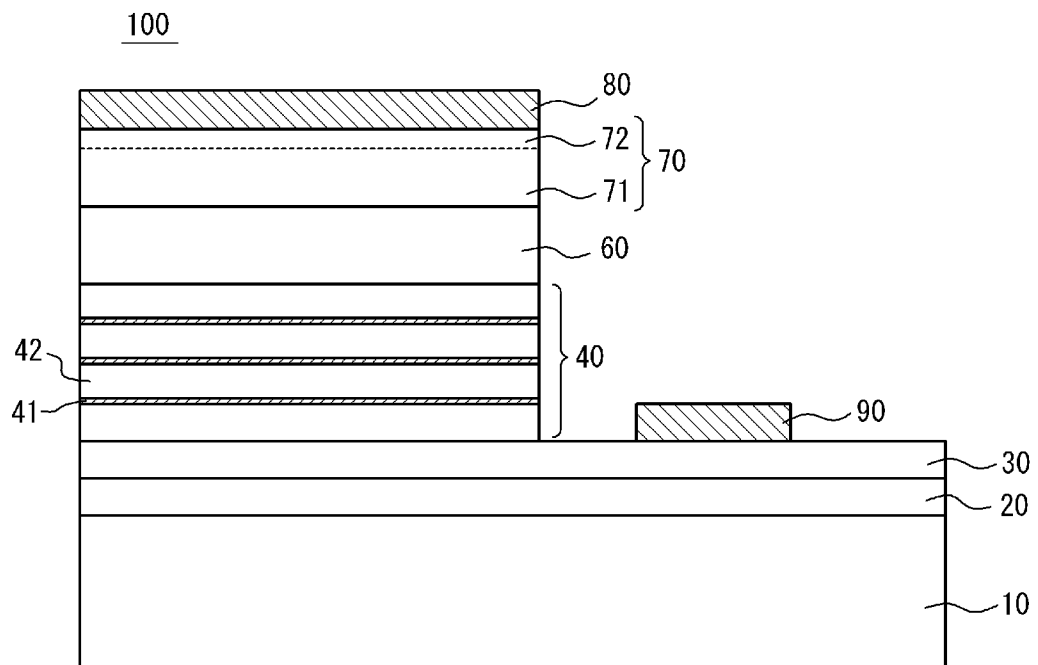
$$2.09 - 0.006 \times \lambda_p \leq x \leq 2.25 - 0.006 \times \lambda_p \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ただし、上記式 (1) 中、 λ_p は前記中心発光波長 (nm) である。

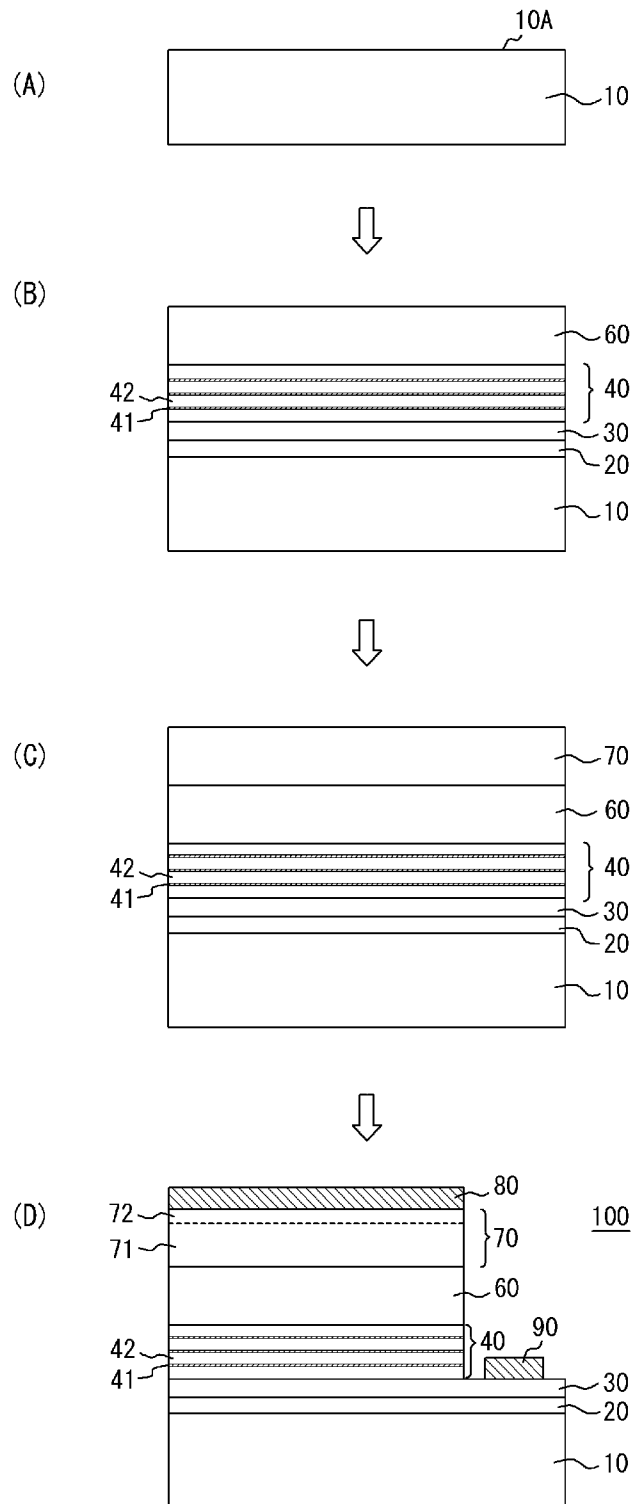
[請求項7]

前記 p 型コンタクト層形成工程は、III 族原料ガス、V 族原料ガスおよび Mg 原料ガスの供給により $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる層を結晶成長させる第 1 工程と、該第 1 工程の終了直後に、前記 III 族原料ガスの流量を前記第 1 工程の流量の $1/4$ 以下に下げると共に、前記第 1 工程に引き続き前記 V 族原料ガスおよび前記 Mg 原料ガスを 1 分以上 20 分以下供給する第 2 工程とを含む、請求項 5 または 6 に記載の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

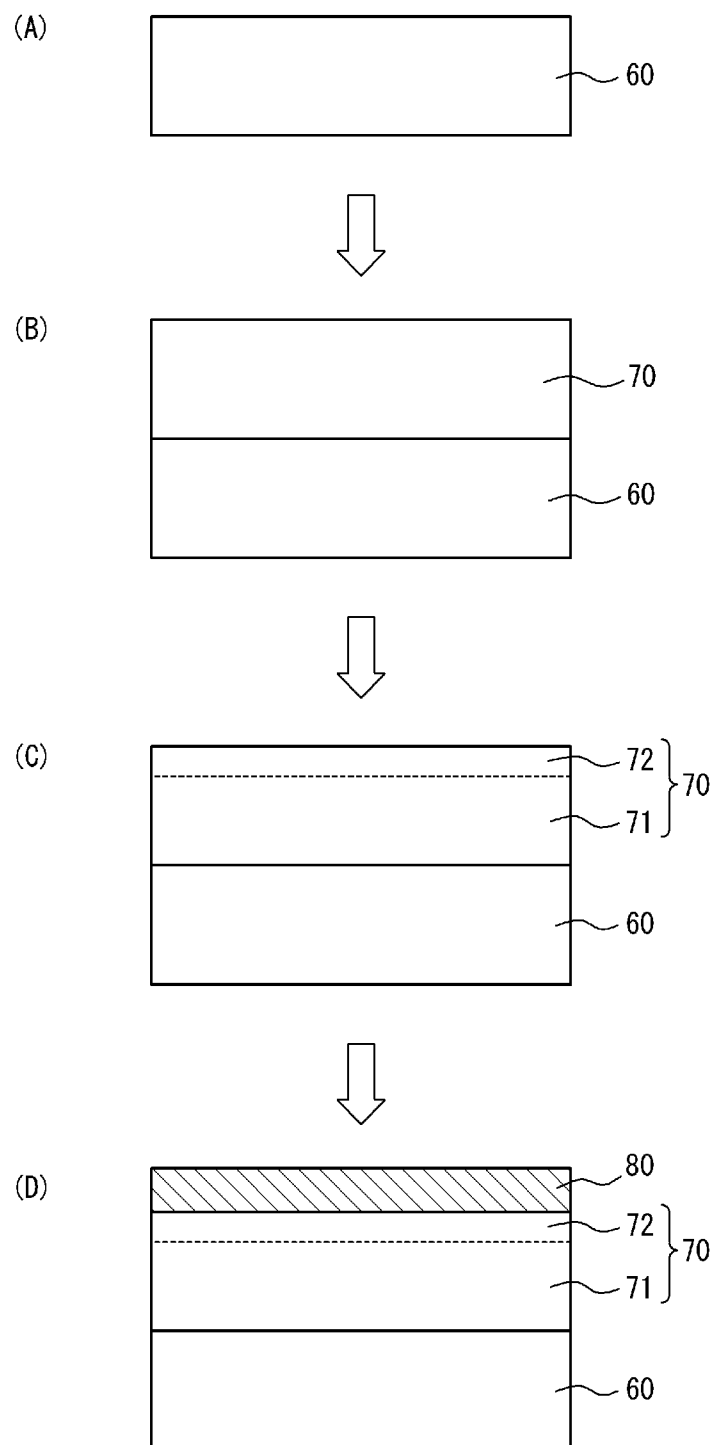
[図1]



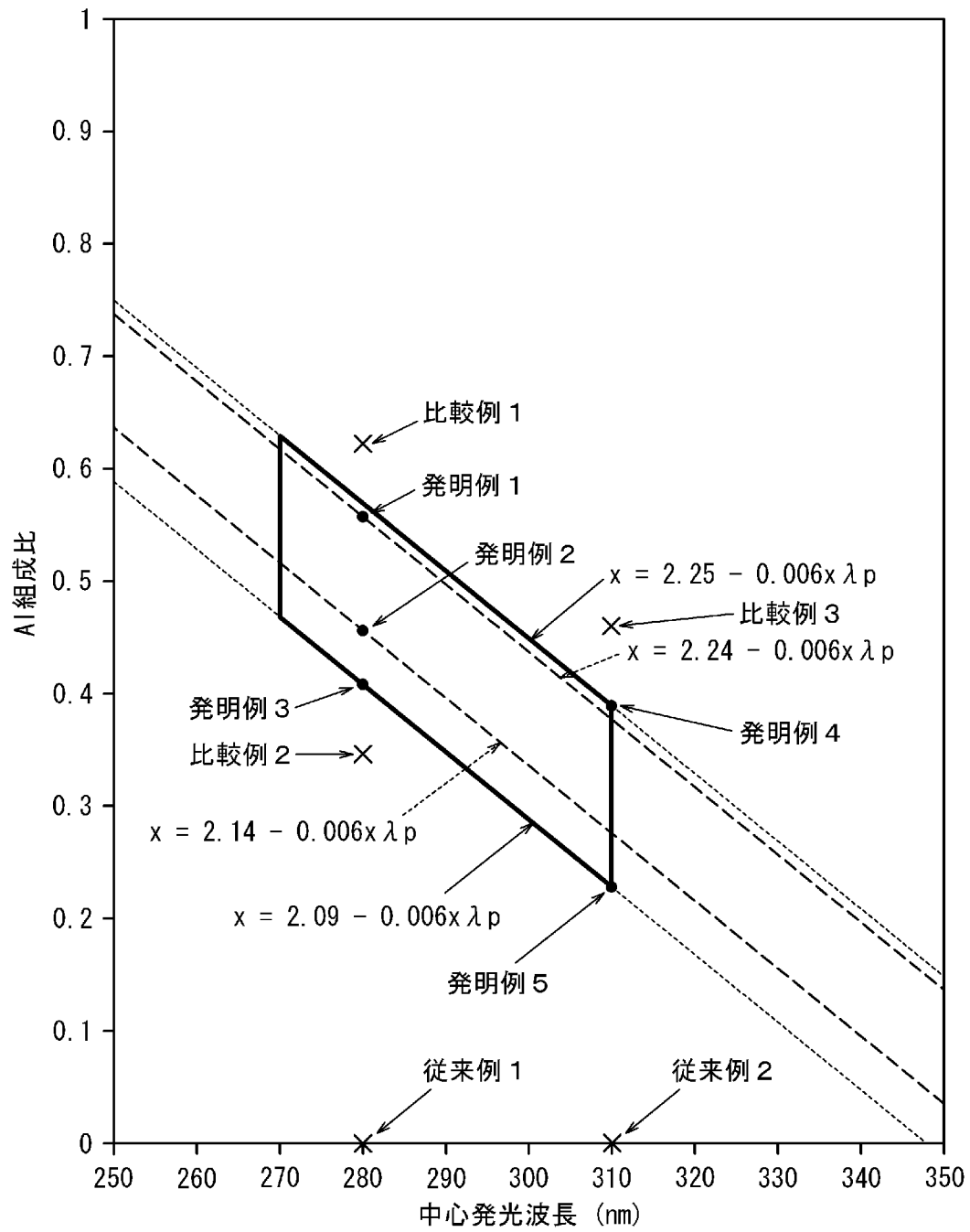
[図2]



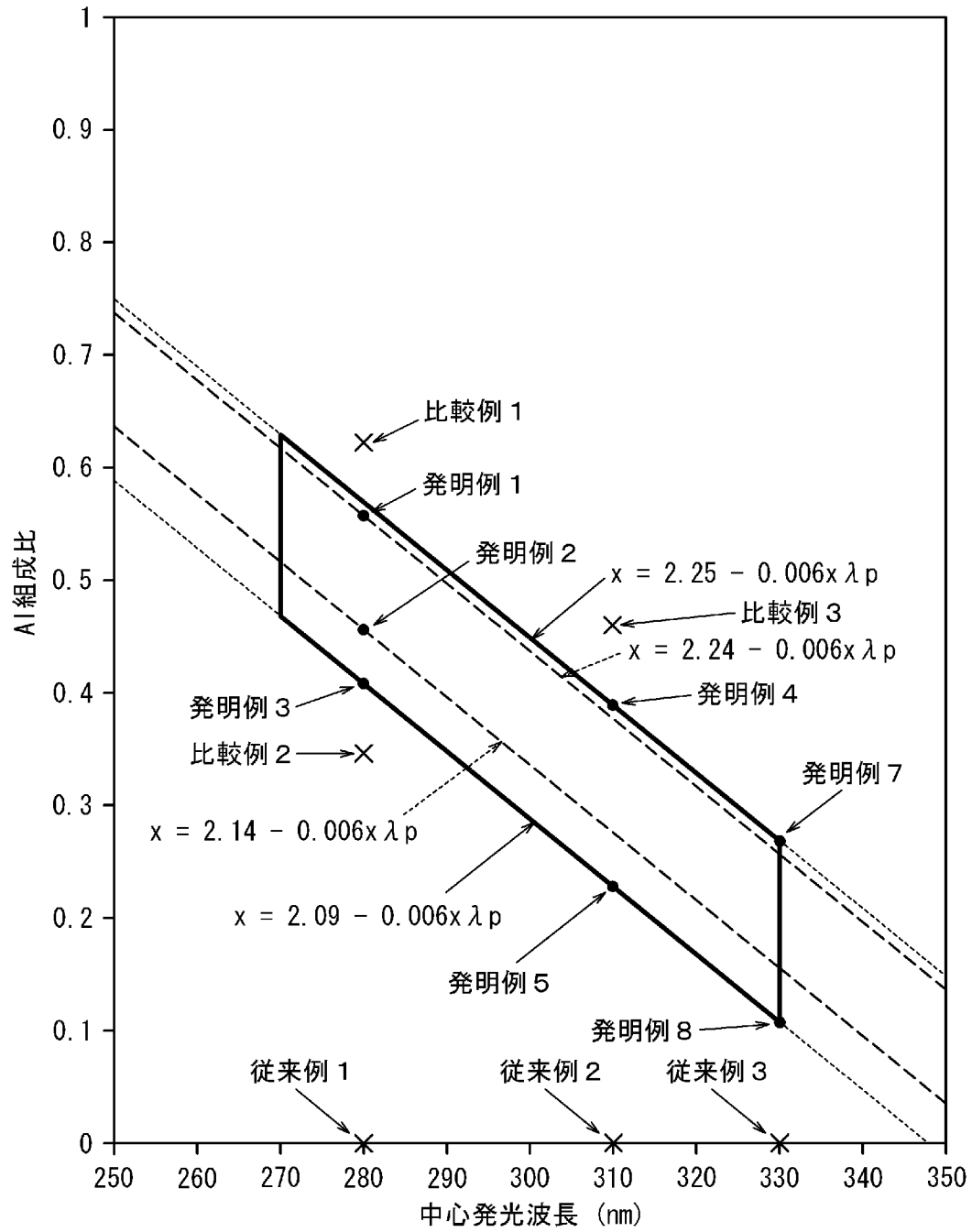
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/011845

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01L33/32 (2010.01) i, H01L21/205 (2006.01) n

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)

Int. Cl. H01L33/00-33/64, H01L21/205

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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.
X Y	JP 2015-216352 A (RIKEN) 03 December 2015, paragraphs [0035]-[0078], fig. 1-4, 8, table 2 & US 2015/0311392 A1, paragraphs [0054]-[0097], fig. 1-4, 8, table 2 & US 9153741 B1 & KR 10-2015-0123138 A	1-2, 5-7 3-4
Y	JP 2012-195321 A (TOSHIBA CORP.) 11 October 2012, paragraphs [0062], [0063] & US 2012/0235168 A1, paragraphs [0081]-[0083]	3-4
Y	JP 2016-207754 A (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) 08 December 2016, paragraphs [0072]-[0076] (Family: none)	4



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
08.06.2018

Date of mailing of the international search report
19.06.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/011845

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014/0131732 A1 (INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) 15 May 2014, entire text, all drawings & CN 103824919 A & TW 201419571 A	1-7

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, H01L21/205(2006.01)n

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, H01L21/205

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
X Y	JP 2015-216352 A（国立研究開発法人理化学研究所） 2015.12.03, 段落[0035]-[0078], 図1-4, 8, 表2 & US 2015/0311392 A1, 段落[0054]-[0097], 図1-4, 8, 表2 & US 9153741 B1 & KR 10-2015-0123138 A	1-2, 5-7 3-4
Y	JP 2012-195321 A（株式会社東芝） 2012.10.11, 段落[0062]-[0063] & US 2012/0235168 A1, 段落[0081]-[0083]	3-4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ 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
「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
「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）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.06.2018

国際調査報告の発送日

19.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

大西 孝宣

2 K

6 0 0 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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 2016-207754 A (国立研究開発法人情報通信研究機構) 2016.12.08, 段落[0072]-[0076] (ファミリーなし)	4
A	US 2014/0131732 A1 (INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) 2014.05.15, 全文, 全図 & CN 103824919 A & TW 201419571 A	1-7