(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
2020年7月30日(30.07.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/153308 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 33/04 (2010.01) *H01L 21/28* (2006.01)
H01L 33/32 (2010.01) *H01L 29/41* (2006.01)
H01L 33/40 (2010.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/001761

(22) 国際出願日： 2020年1月20日(20.01.2020)

(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 2019-008785 2019年1月22日(22.01.2019) JP
特願 2020-006377 2020年1月17日(17.01.2020) JP

(71) 出願人：ＤＯＷＡエレクトロニクス株式会社 (**DOWA ELECTRONICS MATERIALS CO., LTD.**) [JP/JP]；〒1010021 東京都千代田区外神田４丁目１４番１号 Tokyo (JP).

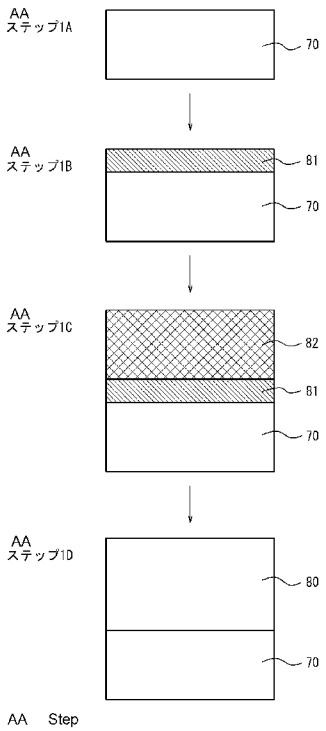
(72) 発明者：渡邉 康弘 (**WATANABE Yasuhiro**)；〒1010021 東京都千代田区外神田４－１４－１ ＤＯＷＡエレクトロニクス株式会社内 Tokyo (JP). 中野 雅之 (**NAKANO Masayuki**)；〒1010021 東京都千代田区外神田４－１４－１ ＤＯＷＡエレクトロニクス株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人：杉村 憲司 (**SUGIMURA Kenji**)；〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目２番１号 霞が関コモンゲート西館３６階 Tokyo (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** PRODUCTION METHOD FOR REFLECTIVE ELECTRODES FOR DEEP ULTRAVIOLET LIGHT-EMITTING ELEMENTS, PRODUCTION METHOD FOR DEEP ULTRAVIOLET LIGHT-EMITTING ELEMENTS, AND DEEP ULTRAVIOLET LIGHT-EMITTING ELEMENTS

(54) 発明の名称：深紫外発光素子用の反射電極の製造方法、深紫外発光素子の製造方法および深紫外発光素子



(57) **Abstract:** Provided is a reflective electrode for deep ultraviolet light-emitting elements, that is capable of both high light-emission output and excellent reliability. A production method for reflective electrodes for deep ultraviolet light-emitting elements according to the present invention comprises: a first step in which Ni is formed at a thickness of 3 –20 nm upon a p-contact layer having a superlattice structure, as a first metal layer; a second step in which Rh is formed at a thickness of 20 nm to 2 μm upon the first metal layer, as a reflective metal; and a third step in which the first metal layer and the second metal layer are heat treated at 300–600°C.

(57) 要約：高い発光出力および優れた信頼性を両立できる深紫外発光素子用の反射電極を提供する。本発明に従う深紫外発光素子用の反射電極の製造方法は、超格子構造を有するｐ型コンタクト層上に、第１金属層としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程と、前記第１金属層上に反射金属としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程と、前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行う第３工程と、を具える。

WO 2020/153308 A1

［続葉有］

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))

明　細　書

発明の名称 ：

深紫外発光素子用の反射電極の製造方法、深紫外発光素子の製造方法および深紫外発光素子

技術分野

[0001] 本発明は、深紫外発光素子用の反射電極の製造方法、深紫外発光素子の製造方法および深紫外発光素子に関し、特に、高い発光出力および優れた信頼性を両立できる深紫外発光素子用の反射電極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] 波長２００～３５０ｎｍの光は深紫外光と呼ばれ、深紫外光を発光する深紫外発光素子は、一般的には以下のとおりにして作製される。すなわち、サファイアやＡｌＮ単結晶等の基板上に、バッファ層を形成し、III族窒化物半導体からなるｎ型半導体層、発光層、ｐ型半導体層を順次形成する。次いで、ｎ型半導体層と電気的に接続するｎ側電極、ｐ型半導体層と電気的に接続するｐ側電極をそれぞれ形成する。ここで、ｐ型半導体層のｐ側電極側には、オーミック接触を取るため、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これまで一般的であった。なお、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）構造が広く用いられている。

[0004] ここで、深紫外発光素子に要求される特性の一つとして、高い外部量子効率特性が挙げられる。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ｐ側の反射電極とを備え、基板側を光取り出し方向とする深紫外発光ダイオードが開示されている。短波長の光に対しては、ＡｌＧａＮ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ＧａＮ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ＡｌＧａＮ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。また、その際の反射電極としては、Ａｌを主成分とする金属膜が好ましいとしている。そしてオーミックコンタクトのための挿入金属層として、Niを使用している。

[0006] 特許文献２では、ニッケル（Ｎｉ）及びコバルト（Ｃｏ）などの金属は、波長が３８０ｎｍ～５５０ｎｍ（青紫、青、緑）の可視光の反射量が小さいことを考慮し、ｐ型半導体層（例えばｐ型GaN層）上の正電極に、銀（Ag）、ロジウム（Rh）、ルテニウム（Ru）、白金（Pt）又はパラジウム（Pd）を用いつつ、上記ｐ型半導体層上の正電極との間にコバルト（Co）又はニッケル（Ni）からなる厚さ０．２～２０nmの第1薄膜金属層を備えたIII族窒化物半導体発光素子が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開２０１５－２１６３５２号公報

特許文献2：特開２０００－３６６１９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 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。そのため、特許文献１に従えば、ｐ型コンタクト層のＡｌ組成比は高いほど好ましいこととなる。

[0009] しかしながら、本発明者らの実験によると、ｐ側電極とコンタクトするｐ型コンタクト層のＡｌ組成比を単に高くすることのみによって、放出される深紫外光の中心発光波長に対する透過性を高めた場合、実用には適さないことが以下の理由により判明した。まず、ｐ型コンタクト層における深紫外光への透過性を高めることで、従来技術に比べて発光出力の高い深紫外発光素子を得ることは確かに可能である。しかしながら、こうして作製した深紫外発光素子のサンプルに対して過負荷信頼性試験（具体的には100mAで3秒間の通電）を行うと、サンプルの一部において、初期の発光出力に対して半減するほどに発光出力が突然低下する、あるいは突然不点灯となる現象（以下、「頓死」とも言う。）が確認された。

[0010] また、本発明者らは、深紫外発光ダイオードに用いる電極の種類とｐ型コンタクト層のＡｌ組成比との関係についても研究を行った。反射電極としてアルミニウム（Al）には劣るものの紫外域での反射率が比較的大きいロジウム（Rh）を用いる場合、ｐ型GaN層上に形成した場合は電極として使用可能であるものの、単層構造でAl組成が３０％以上のｐ型AlGaN層上に形成した場合は、上述した頓死が確認され、電極としての信頼性が得られないことが分かった。

[0011] このように発光出力が突然劣化する素子は信頼性が不十分であり、信頼性が不十分な素子が製品に混入することは、製品の品質管理上許容できない。そこで、本発明は、高い発光出力と優れた信頼性を両立できる深紫外発光素子用の反射電極の製造方法を提供することを目的とする。さらに本発明は、当該反射電極を用いた深紫外発光素子の製造方法及びそれにより得られる深紫外発光素子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

[0012] 本発明者らは、上記課題を解決する方途について鋭意検討した。そして、反射電極の金属材料として紫外域での反射率が比較的大きいロジウム（Rh）を用いる場合には、ロジウムと、超格子構造のｐ型コンタクト層との間にニッケル（Ｎｉ）からなる金属層を設けることで上記課題を解決できることを

実験的に確認し、本発明を完成するに至った。すなわち、本発明の要旨構成は以下のとおりである。

[0013] （１）超格子構造を有するｐ型コンタクト層上に、

第１金属層としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程と、

前記第１金属層上に第２金属層としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程と、

前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行う第３工程と、

を具えることを特徴とする深紫外発光素子用の反射電極の製造方法。

[0014] （２）前記第３工程における加熱処理を行うときの雰囲気ガスが酸素を含む、上記（１）に記載の深紫外発光素子用の反射電極の製造方法。

[0015] （３）前記第２工程の後に、前記第２金属層上に、第３金属層としてＮｉ層を形成する工程と、前記第３金属層上に第４金属層としてＲｈ層を形成する工程をさらに含む、請求項１又は２に記載の深紫外発光素子用の反射電極の製造方法。

[0016] （４）基板上に、ｎ型半導体層を形成する工程と、

前記ｎ型半導体層上に発光層を形成する工程と、

前記発光層上にｐ型電子ブロック層を形成する工程と、

前記ｐ型電子ブロック層上にｐ型コンタクト層を形成する工程と、

前記ｐ型コンタクト層上に反射電極を形成する工程と、

を具える深紫外発光素子の製造方法であって、

前記ｐ型コンタクト層を形成する工程は、ＡｌＩ組成比ｘを有する$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層を形成する第１工程と、前記ＡｌＩ組成比ｘよりも低いＡｌＩ組成比ｙを有する$Al_yGa_{1-y}N$からなる第２層を形成する第２工程と、

を交互に繰り返して超格子構造を有する前記ｐ型コンタクト層を形成し、かつ、前記第２層のＡｌＩ組成比ｙが０．１５以上であり、

前記反射電極を形成する工程は、

前記ｐ型コンタクト層の最表面の前記第２層上に、

第１金属層としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程と、

前記第１金属層上に第２金属層としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程と、

前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００～６００℃の加熱処理を行う第３工程と、

を具えることを特徴とする深紫外発光素子の製造方法。

[0017] （５）前記ｐ型コンタクト層の超格子構造において、

前記発光層において深紫外光を放出する層のＡｌ組成比をw_0としたときに、

前記第１層の前記Ａｌ組成比ｘは前記Ａｌ組成比w_0よりも高く、

前記第２層の前記Ａｌ組成比ｙは前記Ａｌ組成比ｘよりも低く、

前記Ａｌ組成比w_0、前記Ａｌ組成比ｘ、前記Ａｌ組成比ｙ、および前記ｐ型コンタクト層の厚さ平均Ａｌ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足する、上記（４）に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[0018] （６）前記発光層における前記ｐ型電子ブロック層に最も近い井戸層と、前記ｐ型電子ブロック層との間に、前記発光層の障壁層及び前記ｐ型電子ブロック層のいずれのＡｌ組成比よりもＡｌ組成比の高いガイド層をさらに有する、上記（５）に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[0019] （７）前記ガイド層はＡｌＮからなる、上記（６）に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[0020] （８）前記Ａｌ組成比w_0は、０．２５以上０．６０以下である、上記（５）～（７）のいずれかに記載の深紫外発光素子の製造方法。

[0021] （９）前記ｐ型電子ブロック層と前記ｐ型コンタクト層とのｐ型層の合計厚さが、６５～１００ｎｍである、上記（４）～（８）のいずれかに記載の深紫外発光素子の製造方法。

[0022] （１０）前記第２工程の後に、前記第２金属層上に、第３金属層としてＮｉ層を形成する工程と、前記第３金属層上に第４金属層としてＲｈ層を形成する工程をさらに含む、上記（４）～（９）のいずれかに記載の深紫外発光素子の製造方法。

[0023] （１１）基板上に、ｎ型半導体層、発光層、ｐ型電子ブロック層およびｐ型コンタクト層を順次有し、

前記ｐ型コンタクト層は、ＡｌＩ組成比ｘを有する$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層と、ＡｌＩ組成比ｙを有する$Al_yGa_{1-y}N$からなる第２層と、を交互に積層してなる超格子構造を有し、かつ、前記第２層の前記ＡｌＩ組成比ｙが０．１５以上であり、

前記ｐ型コンタクト層の最表面の前記第２層上に、NiとRhからなる反射電極を有することを特徴とする深紫外発光素子。

[0024] （１２）前記ｐ型コンタクト層の超格子構造において、

前記発光層において深紫外光を放出する層のＡｌＩ組成比をw_0としたときに、

前記第１層の前記ＡｌＩ組成比ｘは前記ＡｌＩ組成比w_0よりも高く、

前記第２層の前記ＡｌＩ組成比ｙは前記ＡｌＩ組成比ｘよりも低く、

前記ＡｌＩ組成比w_0、前記ＡｌＩ組成比ｘ、前記ＡｌＩ組成比ｙ、および前記ｐ型コンタクト層の厚さ平均ＡｌＩ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足する、上記（１１）に記載の深紫外発光素子。

[0025] 前記ｐ型電子ブロック層と前記ｐ型コンタクト層とのｐ型層の合計厚さが、６５～１００nmである、上記（１１）又は（１２）に記載の深紫外発光素子。

発明の効果

[0026] 本発明によれば、高い発光出力および優れた信頼性を両立できる深紫外発

光素子用の反射電極の製造方法を提供することができる。さらに本発明は、当該反射電極を用いた深紫外発光素子の製造方法及びそれにより得られる深紫外発光素子を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1A]本発明の一実施形態に従う深紫外発光素子用の反射電極の製造方法を説明するための、模式断面図による工程図である。

[図1B]本発明の他の実施形態に従う深紫外発光素子用の反射電極の製造方法を説明するための、模式断面図による工程図である。

[図2]本発明の一実施形態に従う深紫外発光素子を説明する模式断面図である。

[図3]本発明の一実施形態に従う深紫外発光素子の製造方法を説明するための、模式断面図による工程図である。

発明を実施するための形態

[0028] 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Ａｌ組成比を明示せずに単に「ＡｌＧａＮ」と表記する場合は、III族元素（Ａｌ，Ｇａの合計）とＮとの組成比が１：１であり、III族元素ＡｌとＧａとの比率は不定の任意の化合物を意味するものとする。また「ＡｌＧａＮ」は、ＩＩＩ族元素であるＩｎについての表記がなくとも、ＩＩＩ族元素としてのＡｌとＧａの合計に対して５％以内のＩｎを含んでいてもよいこととし、Ｉｎを含めて記載した組成式は、Ａｌ組成比をx_0としＩｎ組成比をy_0（$0 \leqq y_0 \leqq 0.05$）として$Al_{x0}In_{y0}Ga_{1-x0-y0}N$とする。単に「ＡｌＮ」又は「ＧａＮ」と表記する場合は、それぞれＧａ及びＡｌは含まれないことを意味するが、明示がない限り、単に「ＡｌＧａＮ」と表記することによって、ＡｌＮ又はＧａＮ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及びＸ線回折測定などによって測定することができる。

[0029] また、本明細書において、電気的にｐ型として機能する層をｐ型層と称し、電気的に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、電気的に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４×１０^{16}／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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032]（反射電極）

図１Ａに、本発明の一実施形態に従う深紫外発光素子用の反射電極の製造方法により得られるｐ側の反射電極８０を示す。図２はこの反射電極８０を有する深紫外発光素子１００の模式断面図である。以下では図１Ａ及び図２の符号を参照する。反射電極８０は、ｐ型コンタクト層７０の直上に設けることができる。そして、反射電極８０は、発光層４０から放射される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た反射電極であり、本発明では、このような反射率を有する金属（以下、「反射金属」と

言う。）としてロジウム（Ｒｈ）を用いる。ロジウム（Ｒｈ）は、例えば市販される金属ロジウム（例えば純度３N）を蒸着源として使用することができる。そして、ｐ型コンタクト層７０が超格子構造を有し、かつ、ｐ型コンタクト層７０上にニッケル（Ｎｉ）を一定の厚さ以上で介して上記反射金属を形成することで得られるｐ側の反射電極は深紫外光への反射率が高い。さらに、３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行うことで、ｐ型コンタクト層７０とｐ側の反射電極８０とで比較的良好なオーミック接触を取ることもでき、さらに高電流にも耐えられる信頼性を有することが分かった。なお、上記の反射電極８０の反射率は、深紫外発光素子１００の状態で反射電極８０の反射率を直接測定することが極めて困難であるため、サファイア基板上に第１金属層８１と第２金属層８２を成膜し、熱処理工程前と熱処理工程後において透明なサファイア基板側から反射電極８０に向けて各波長の光を当て、紫外可視分光光度計を用いて波長に対する反射率（例えば波長３００ｎｍに対する反射率）を測定することにより代用するものとする。

[0033] すなわち、図１Ａを参照するように、本発明の一実施形態に従う深紫外発光素子用の反射電極の製造方法は、超格子構造を有するｐ型コンタクト層７０（図１Ａステップ１Ａ）上に、第１金属層８１としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程（図１Ａステップ１Ｂ）と、第１金属層８１上に第２金属層８２としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程（図１Ａステップ１Ｃ）と、前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行う第３工程（図１Ａステップ１Ｄ）と、を具える。

[0034] ＜第１工程＞

第１工程ではｐ型コンタクト層７０上に第１金属層８１としてNiを３～２０nmの厚さで形成する。Ｎｉは電子ビーム蒸着法及び抵抗加熱蒸着法などの真空蒸着法、並びにスパッタ法などの一般的な手法によりｐ型コンタクト層７０の表面に蒸着することができる。3nm未満では前述の頓死を抑制することが困難となり、20nmを超えると反射電極の反射率の低下が著しいためである

。また、第１金属層８１の厚さを３～１０nmとすることがさらに好ましい。第１金属層８１を１０nm以下の厚さで形成することで、加熱処理後の反射電極８０による波長300nmに対する反射率を６０％以上とすることができる。なお、第１金属層８１の厚さは、水晶振動子の膜厚計を用いて測定することができる。

[0035] ＜第２工程＞

第２工程では第１金属層８１上に第２金属層８２としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する。２０nm未満では第２金属層８２の紫外光に対する反射率が十分に高いものとならないことがあるためである。また、２μｍを超えるとRhに掛かる費用の問題が生じるためである。後述の熱処理工程による第1金属層８１の拡散後の反射電極の反射率を向上させるためには第２金属層８２の厚さは30nm以上とすることがより好ましく、費用を抑えるため100nm以下とすることがより好ましい。第２工程も第１工程と同様に真空蒸着法及びスパッタ法などの一般的な手法により第２金属層を形成することができる。第２金属層８２の厚さは、水晶振動子の膜厚計を用いて測定することができる。

[0036] ＜第３工程＞

第３工程では第１金属層８１及び第２金属層８２に対して３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行い、反射電極８０を得る。本工程のように、ｐ側電極を形成した後にオーミック接触を取るための加熱処理を行う際に用いる雰囲気ガスとして窒素などの不活性ガスを用いることが一般的である。本工程においても不活性ガスのみを雰囲気ガスとして用いてもよい。ただし本工程においては、雰囲気ガス中に酸素を含むことがより好ましい。雰囲気ガス中の酸素の割合としては、流量比として０％超５０％以下とすることが好ましい。

[0037] こうして得られる反射電極８０は、NiとRhからなる電極である。第３工程の加熱処理に伴い第１金属層８１としてのNiは、ｐ型コンタクト層７０と接する界面から第２金属層８２のRh側へと拡散する。そしてNiの拡散によりｐ

型コンタクト層７０と反射電極８０との界面におけるRhの割合が増えるため、熱処理前に比べて当該界面での反射率が上昇する。熱処理後の反射電極８０ではNiは層状を保っておらず拡散しているため、熱処理後（すなわち拡散後）のＮｉ量を正確に測定することは困難である。そこで、熱処理後の反射電極の断面（垂直断面）のSEM-EDS分析においてNi及びRhのそれぞれのピークがともに観察されれば、NiとRhからなる反射電極８０が設けられたと判断される。そして、反射電極８０において、Rhは体積比（反射電極の断面のSEM-EDS分析のマッピングにおける面積比に相当）で50％以上であり、75％以上が好ましい。反射電極８０におけるRhの体積比を75％以上にすることで、加熱処理後の反射電極８０による波長300nmに対する反射率を６０％以上とすることができる。

また、上記の反射電極（熱処理工程後）の反射率測定において、Rh単体の波長300nmに対する反射率が70～73％であり、NiとAuの合金の反射率が40％未満であるため、本発明のNiとRhからなる反射電極８０は、第１金属層８１の厚さを3～20nm、第２金属層８２の厚さを20nm～2μｍ範囲とすることにより、波長300nmに対する反射率を40％以上67％未満の範囲とすることができ、第１金属層８１の厚さを3～10nm、第２金属層８２の厚さを30nm～100nmの範囲とすることにより、波長300nmに対する反射率を60％以上70％未満とすることができる。なお、NiはRhと合金化してもRh単体による反射率を大きく下げない。また、反射電極８０において、Ni及びRh以外に含有され得る反射率を大きく下げない不純物としては、ルテニウム（Ru）、金（Au）、白金（Pt）、パラジウム（Pd）、チタン（Ti）が考えられ、その不純物含有量は40質量％以下であり、10質量％以下が好ましい。

[0038] 以上説明した本実施形態に従う深紫外発光素子用の反射電極８０を深紫外発光素子に用いることで、高い発光出力および優れた信頼性を両立することができる。

[0039] 図１Ｂを参照する。上記実施形態の他の実施形態として、第２工程の後に、前記第２金属層上に、第３金属層８３としてＮｉ層を形成する工程と、第

３金属層８３上に第４金属層８４としてＲｈ層を形成する工程をさらに含むことも好ましい。この工程は、第２工程と第３工程の間に行っても、第３工程の後に行ってもよいが、第２工程と第３工程の間において第２工程の直後に行うことが作業効率の面で好ましい。第３金属層８３として、Ｎｉ層は、１～２０ｎｍの厚さで形成することができる。また、第４金属層８４としてＲｈ層は、５ｎｍ以上２μｍ以下の厚さで形成することができる。さらに、第４金属層８４上に、再度、第３金属層及び第４金属層に対応するＮｉ層とＲｈ層を形成することを繰り返し、反射電極を、Ｎｉ層とＲｈ層の順で複数回繰り返し積層した積層体としてもよい。

[0040] 第２金属層８２上にＡｕが存在した状態では、第３工程などの加熱を経てＡｕが反射電極中を拡散すると頓死が生じる恐れがあるが、ＮｉとＲｈからなる反射電極を、Ｎｉ及びＲｈの積層順を複数回繰り返す積層構造にすることで、頓死を抑制することができる。そのため、Ｎｉ層と、Ｒｈ層とを複数回積層すれば、積層後のＲｈ層上に他の金属（金など）を接触させて外部との電気的接続を形成する実装工程や外部との接続方法（半田など加熱を必要とする場合を含む）に拠らずに、頓死する恐れをより確実に回避可能な電極とすることができるため好ましい。この観点では、反射電極を構成する金属元素は、Ni及びRhのみからなることが特に好ましい。

[0041]（深紫外発光素子）

次に、本発明により得られる反射電極８０を有する深紫外発光素子１００を説明する。本発明の一実施形態に従う深紫外発光素子１００は、図２に示すように、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およびｐ型コンタクト層７０、そして上記のｐ側の反射電極８０を順次有する深紫外発光素子である。そして、反射電極８０はｐ型コンタクト層の最表面の第２層７２上に設けられる。ｐ型コンタクト層７０は、ＡＩ組成比ｘを有する$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層７１と、ＡＩ組成比ｙを有する$Al_yGa_{1-y}N$からなる第２層７２と、を交互に積層してなる超格子構造を有する。また、第２層７２のＡＩ組成比ｙは０．１５以上（ｙ≧０．１５

）である。

[0042] 特に、発光層４０において深紫外光を放出する層のＡｌ組成比をw_0としたときに、第１層７１のＡｌ組成比ｘはＡｌ組成比w_0よりも高く、第２層７２のＡｌ組成比ｙはＡｌ組成比ｘよりも低く、Ａｌ組成比w_0、Ａｌ組成比ｘ、Ａｌ組成比ｙおよびｐ型コンタクト層７０の厚さ平均Ａｌ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足することが好ましい。

[0043] なお、図２に示すように、基板１０とｎ型半導体層３０との間にバッファ層２０を設け、ｐ型コンタクト層７０の直上にはｐ側の反射電極８０を、ｎ型半導体層３０の露出面にはｎ側電極９０を設けていることは、深紫外発光素子１００の好ましい態様である。

[0044] 以下では、説明を簡便化するためにｐ型コンタクト層７０の超格子構造における第１層７１および第２層７２の各層のＡｌ組成比および厚さは一定であるとして説明する。この場合、ｐ型コンタクト層７０の厚さ平均Ａｌ組成比ｚは、以下のとおりにして定義される。まず、超格子構造における第１層７１の層数をＮとし、第１層７１の各層の厚さをt_aと表わす。同様に、第２層７２の層数をＭとして、第２層７２の各層の厚さをt_bと表わす。このとき、ｐ型コンタクト層７０の厚さ平均Ａｌ組成比ｚは下記式［３］に従う。

[数1]

$$z = \frac{N \cdot t_a \cdot x + M \cdot t_b \cdot y}{N \cdot t_a + M \cdot t_b} \quad \cdots [3]$$

[0045] なお、ｐ型コンタクト層７０の超格子構造における第１層７１および第２層７２の各層Ａｌ組成比および厚さは必ずしも一定である必要はない。この超格子構造における第１層７１および第２層７２の各層Ａｌ組成比および厚

さに変動がある場合、厚さ平均ＡｌＩ組成比ｚは、第１層７１および第２層７２のそれぞれの厚さおよびＡｌＩ組成比による加重平均値（重み付き平均値）を用いればよく、第１層７１および第２層７２のそれぞれのＡｌＩ組成比ｘ、ｙは、厚さによる加重平均値を指すものとする。

[0046] 引き続き、図２を参照しつつ、深紫外発光素子１００における基板１０、ｎ型半導体層３０、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の各構成の詳細をまず説明する。

[0047] ＜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。

[0048] ＜ｎ型半導体層＞

ｎ型半導体層３０は必要によりバッファ層２０を介し、基板１０上に設けられる。ｎ型半導体層３０を基板１０上に直接設けてもよい。ｎ型半導体層３０には、ｎ型のドーパントがドープされる。ｎ型ドーパントの具体例として、シリコン（Ｓｉ），ゲルマニウム（Ｇｅ），錫（Ｓｎ），硫黄（Ｓ），酸素（Ｏ），チタン（Ｔｉ），ジルコニウム（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型半導体層３０が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１．０×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}～１．０×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}とすることができる。また、ｎ型半導体層３０のバンドギャップは、発光層４０（量子井戸構造とする場合は井戸層４１）のバンドギャップよりも広く、発光する深紫外光に対し透過性を有することが好ましい。また、ｎ型半導体層３０を単層構造や複数層からなる構造の他、III族元素の組成比を結晶成長方向に組成傾斜させた組成傾斜層や超格子構造を含む構成することもできる。ｎ型半導体層３０は、ｎ側電極とのコンタクト部を形成するだけでなく、基板から

発光層に至るまでに結晶性を高める機能を兼ねる。

[0049] ＜発光層＞

発光層４０はｎ型半導体層３０上に設けられ、深紫外光を放射する。発光層４０は、ＡｌＧａＮよりなることができ、そのＡｌ組成比は、放射光の波長が深紫外光の２００～３５０ｎｍとなるよう、または、中心発光波長が２６５ｎｍ以上３１７ｎｍ以下となるよう設定することができる。このようなＡｌ組成比は、例えば０．２５～０．６０の範囲内とすることができる。

[0050] 発光層４０はＡｌ組成比が一定の単層構造であってもよいし、Ａｌ組成比の異なるＡｌＧａＮからなる井戸層４１と障壁層４２と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も好ましい。発光層４０がＡｌ組成比一定の単層構造である場合、発光層４０において深紫外光を放出する層のＡｌ組成比w_0は発光層４０のＡｌ組成比そのものである。また、発光層４０が多重量子井戸構造を有する場合、井戸層４１が発光層４０において深紫外光を放出する層に相当するため、便宜的に、井戸層４１のＡｌ組成比ｗが上記Ａｌ組成比w_0に相当するものとして取り扱う。なお、放射光の波長が深紫外光の２００～３５０ｎｍとなるよう、または、中心発光波長が２６５ｎｍ以上３１７ｎｍ以下となるよう、深紫外光を放出する層のＡｌ組成比w_0（または井戸層のＡｌ組成比ｗ）を０．２５～０．６０とすることが好ましい。

[0051] 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）する。Ａｌ組成比ｂについては、ｂ＞ｗの条件の下、障壁層４２のＡｌ組成比ｂを例えば０．４０～０．９５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１～１０回とすることができる。発光層４０の厚み方向の両端側（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の厚みを０．５ｎｍ～５ｎｍ、障壁層４２の厚みを３ｎｍ～３０ｎｍとすることができる。

[0052] ＜ガイド層＞

発光層４０が上述した量子井戸構造を有する場合、発光層４０におけるｐ型電子ブロック層６０に最も近い井戸層４１と、後記のｐ型電子ブロック層６０との間に、障壁層４２及びｐ型電子ブロック層６０のいずれのＡｌ組成比よりもＡｌ組成比の高いガイド層が設けられることも好ましい。これにより、深紫外発光素子１００の発光出力を高めることができる。この場合、ガイド層のＡｌ組成比をb_gと表記し、後記するｐ型電子ブロック層６０のＡｌ組成比αを用いれば、各Ａｌ組成比の関係は以下のとおりである。

ｗ（井戸層）＜ｂ（障壁層）＜α（ｐ型電子ブロック層）＜b_g（ガイド層）

[0053] また、発光層４０を障壁層４２から始まるｎ組の井戸層４１および障壁層４２とし、発光層４０及びｐ型電子ブロック層６０の両者と接する層を上記したガイド層とし、その厚さを他の障壁層に比べて薄くすることも好ましい。例えば、ガイド層がＡｌＮからなり（この場合、特にＡｌＮガイド層と称する）、その厚さを０．７～１．７ｎｍとすることも好ましい。

[0054] ＜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、深紫外光を放出する層のＡｌ組成比w_0（量子井戸構造の場合、井戸層４１のＡｌ組成比ｗに相当）にもよるが、ｐ型電子ブロック層６０のＡｌ組成比αを、０．３５≦α≦０．９５とすることが好ましい。なお、Ａｌ組成比αが０．３５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、Ａｌ組成比αは上記条件を満足しつつ、ｐ型コンタクト層７０の厚さ平均Ａｌ組成比ｚよりも高くすることが好ましい。すなわち、α＞ｚとすることが好ましい。また、ｐ型電子ブロック層６０のＡｌ組成比αおよび障壁層４２のＡｌ組成比ｂの両者に関し、０＜α－ｂ≦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による井戸層４１への電子の注入効率を確実に高めることができる。

[0055] 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にドープするｐ型ドーパントとしては、マグネシウム（Ｍｇ），亜鉛（Ｚｎ），カルシウム（Ｃａ），ベリリウム（Ｂｅ），マンガン（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１．０×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3～５．０×10^{21}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}とすることができる。

[0056] ＜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、その直上に設けられるｐ側の反射電極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。したがって、ｐ型コンタクト層７０およびｐ側の反射電極８０との間に、製造上不可避的な不純物以外の所期の構成は存在しないこととなる。すなわち、超格子構造のｐ型コンタクト層７０上に接してｐ側の反射電極８０がある。

[0057] さて、前述のとおり、ｐ型コンタクト層７０は、$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層７１と、$Al_yGa_{1-y}N$からなる第２層７２と、を交互に積層してなる超格子構造を有する。ここで、第１層７１のＡｌ組成比ｘは、発光層４０において深紫外光を放出する層のＡｌ組成比w_0よりも高くして（ｘ＞w_0）、深紫外光に対する透過率を高めることが好ましい。発光層４０が単層構造であれば、Ａｌ組成比ｘを発光層４０のＡｌ組成比よりも高くすればよく、発光層４０が量子井戸構造を有すれば、Ａｌ組成比ｘを井戸層４１のＡｌ組成比ｗよりも高くすればよい。

[0058] そして前述のとおり、Ａｌ組成比w_0、Ａｌ組成比ｘ、Ａｌ組成比ｙ、およ

びｐ型コンタクト層の厚さ平均ＡｌＩ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足することが好ましい。

[0059] 従来技術においては、深紫外発光素子のｐ型コンタクト層として、ホール濃度を高めやすいｐ型ＧａＮ層を用いることが一般的であった。しかしながら、ｐ型ＧａＮ層はそのバンドギャップのために、波長３６０ｎｍ以下の光を吸収してしまう。そのため、発光層から放射される深紫外光のうち、ｐ型コンタクト層の側からの光取り出し、あるいは、ｐ側電極での反射による光取り出し効果はほとんど期待できない。一方、ｐ型コンタクト層を、ＡｌＩ組成比を高くしたＡｌＧａＮとすれば、ホール濃度がＧａＮに比べてある程度低減し得るものの、発光層から放射された深紫外光はｐ型コンタクト層を透過できるため、深紫外発光素子全体としての光取り出し効率が高まり、結果として深紫外発光素子の発光出力を高くすることができる。しかしながら、ｐ型コンタクト層のＡｌＩ組成比が高くなり過ぎると、信頼性が不十分な深紫外発光素子となり得ることが本発明者らの実験により判明した。一方、上述したＡｌＩ組成比により形成された超格子構造のｐ型コンタクト層７０であれば、発光層４０において深紫外光を放出する層のＡｌＩ組成比w_0よりも厚さ平均ＡｌＩ組成比ｚが高い（$z > w_0$）ために、深紫外光がｐ型コンタクト層７０を透過でき、結果的により高い発光出力が得られるため好ましい。

[0060] ここで、深紫外光がｐ型コンタクト層７０をより確実に透過させるため、上記式［１］のとおり、厚さ平均ＡｌＩ組成比ｚと、深紫外光を放出する層のＡｌＩ組成比ｗとの差を０．０３０よりも高くする（すなわち、$z - w_0 > 0.030$）ことが好ましい。この目的のため、ＡｌＩ組成比ｚとＡｌＩ組成比ｗとの差を０．０４０よりも高くする（$z - w_0 > 0.040$）ことがより好ましく、０．０５０よりも高くする（$z - w_0 > 0.050$）ことがさらに好ましく、０．０６よりも高くする（$z - w_0 > 0.060$）ことが特に好ましい。

[0061] また、ｐ型コンタクト層７０と、ｐ側の反射電極８０とで良好なオーミックコンタクトをとって信頼性を十分なものとするため、厚さ平均ＡｌＮ組成比の上限を設けることが好ましい。そこで、上記式［１］のとおり、厚さ平均ＡｌＮ組成比ｚと、深紫外光を放出する層のＡｌＮ組成比ｗとの差の上限を０．２０とすることが好ましく（$z-w_0<0.20$）、この目的のため、ＡｌＮ組成比ｚとＡｌＮ組成比ｗとの差の上限を０．１９とする（$z-w_0<0.19$）ことがより好ましく、上限を０．１８とする（$z-w_0<0.18$）ことがさらに好ましい。

[0062] さらに、上記式［２］のとおり、第１層７１のＡｌＮ組成比ｘと第２層７２のＡｌＮ組成比ｙの差は絶対値で０．０５０以上（$x-y\geqq 0.050$）とすることが好ましい。これは、ｐ型コンタクト層７０を超格子構造として確実に機能させるためである。また、超格子構造全体の歪を減らすとともに、低Al組成比でｐ側の反射電極８０と接触させるため、ＡｌＮ組成比ｘとＡｌＮ組成比ｙの差は絶対値で０．１以上（$x-y\geqq 0.10$）とすることが好ましく、０．１５以上（$x-y\geqq 0.15$）とすることがより好ましい。一方、ＡｌＮ組成比ｘとＡｌＮ組成比ｙの差が過大であると、第１層と第２層間の格子定数が大きく変わることとなるため歪が増加し、結晶性の良い超格子層を得るのが難しくなるおそれがある。そのため、本発明効果をより確実に得るためには$x-y\leqq 0.47$とすることが好ましく、$x-y\leqq 0.45$とすることがより好ましい。

[0063] なお、超格子構造における低ＡｌＮ組成比の層である第２層７２のＡｌＮ組成比ｙを０．２０以上とすれば、発光層４０からの深紫外光の透過率をより確実に高めることができ、好ましい。この目的のため、ＡｌＮ組成比ｙを０．２１以上とすることがより好ましく、０．２５以上とすることがさらに好ましい。一方、ＡｌＮ組成比ｙを０．５５以下とすると、高い信頼性をより確実に維持することができるため好ましく、この目的のため、ＡｌＮ組成比ｙを０．５１以下とすることがさらに好ましく、０．４０以下とすることが特に好ましい。なお、厚さ平均ＡｌＮ組成比ｚが発光層４０において深紫外光を放出す

る層のＡｌ組成比w_0よりも高い限りは、Ａｌ組成比ｙはＡｌ組成比w_0より高くても低くてもよい。また、Ａｌ組成比ｘは、上述した式［１］，［２］を満足する限りで適宜設定すればよく、Ａｌ組成比ｘの上限および下限は制限されない。式［１］，［２］を満足した上で、Ａｌ組成比ｘを概ね、０．４０～０．８５の範囲内で設定すればよい。

[0064] また、第１層７１および第２層７２のそれぞれの厚さt_a、t_bは、超格子構造を形成し、かつ、厚さ平均Ａｌ組成ｚの、発光層４０のＡｌ組成比に対する条件を満足する限りは特に制限されない。例えば第１層７１の厚さt_aを１．０ｎｍ以上１０．０ｎｍ以下とすることができ、第２層７２の厚さt_bを１．０ｎｍ以上１０．０ｎｍ以下とすることができる。厚さt_a、t_bの大小関係は制限されず、どちらが大きくても構わないし、両者の厚さが同じでもよい。また、ｐ型コンタクト層７０の全体の厚さが２０ｎｍ以上１００ｎｍ以下、好ましくは７０ｎｍ以下の範囲内となるように、第１層７１および第２層７２の繰り返し回数を、例えば３～１５回の範囲で適宜設定することが好ましい。

[0065] そして、上記ｐ型電子ブロック層６０の厚さとｐ型コンタクト層７０との厚さの合計であるｐ型層の合計厚さが、６５nm以上１００nm以下であることが好ましく、７０nm以上９５nm以下とすることがより好ましい。この範囲内とすることで、高い発光出力をより確実に得ることができる。

[0066] ここで、ｐ型コンタクト層７０の厚さ方向における、ｐ型電子ブロック層６０に近い方の末端の層が第１層７１であることが好ましい。換言すれば、ｐ型コンタクト層７０と、ｐ型電子ブロック層６０との間に介在する他の層が無く、両者が接触している場合は、ｐ型電子ブロック層６０の直上に第１層７１が設けられることが好ましい。第１層７１のＡｌ組成比ｘは、第２層７２のＡｌ組成比ｙよりも高く、Ａｌ組成比ｘの方がｐ型電子ブロック層６０のＡｌ組成比αに近いため、ｐ型電子ブロック層６０と、ｐ型コンタクト層７０との間の歪みによる欠陥生成をより確実に抑制することができる。

[0067] 一方、ｐ型コンタクト層７０の厚さ方向において、ｐ型電子ブロック層６

０から遠い方の末端の層は第２層７２であることが好ましい。換言すれば、ｐ側の反射電極８０と接する層は第２層７２であることが好ましい。第１層７１のＡｌ組成比ｘと第２層７２のＡｌ組成比ｙとを比べると、Ａｌ組成比ｙの方が低いため、ｐ側の反射電極８０とオーミックコンタクトを取りやすくなるためである。

[0068] なお、ｐ型コンタクト層７０の厚さ方向における、ｐ型電子ブロック層６０に近い方の末端の層が第１層７１であり、かつ、ｐ型電子ブロック層６０から遠い方の末端の層が第２層７２である場合は、第１層７１の層数と、第２層７２の層数が一致することとなる。ただし、本実施形態において、必ずしも両者の層数が一致する必要はない。本実施形態は、ｐ型コンタクト層７０の厚さ方向における末端の両層が第２層７２である場合（この場合、第２層７２の層数は第１層７１の層数に比べて１層多い。）を含む。

[0069] また、本発明に従う一実施形態として、第１層７１と第２層７２の２層を繰り返し積層した超格子構造をこれまで説明してきたが、本発明に従う他の実施形態として、上述した第１層と第２層の関係を同じくしつつ、第１層と第２層との間のＡｌ組成比を有する第３層を第１層と第２層の間に配置した３層構造の超格子構造を適用することもできる。この場合も、上述した本発明効果と同様の効果が得られる。

[0070] ここで、ｐ型コンタクト層７０はｐ側の反射電極８０と接する側において、Ｍｇ濃度が3×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上の高濃度領域を有することが好ましく、この高濃度領域におけるＭｇ濃度が5×10^{20}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、深紫外発光素子１００の順方向電圧Ｖｆを低下することができる。なお、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におけるＭｇ濃度の上限を1×10^{21}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側の領域のＭｇ濃度は一般的な範囲とすることができ、通常5×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上3×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}未満である。な

お、ｐ型コンタクト層における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、高濃度領域の厚さは、通常１５ｎｍ以下であり、ｐ側の反射電極８０と接する側の数層程度を高濃度領域とすることができる。

[0071] さらにまた、ｐ型コンタクト層７０は、ｐ側の反射電極８０と接する側において、Ｓｉ濃度が5×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上1×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下のＳｉドープ領域を有することも好ましい。当該領域におけるＳｉ濃度を2×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上5×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下とすることがより好ましい。こうすることで、深紫外発光素子１００の発光出力をより高めることができる。なお、Ｓｉドープ領域の厚さは、１～５ｎｍ程度あれば、この効果を確実に得ることができる。Ｓｉドープ領域を、ｐ型コンタクト層の超格子構造における最後の第２層とするとも好ましい。上述したＭｇ濃度が3×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上の高濃度領域にさらにＳｉをドープしたコドープ領域としてもよい。また、Ｓｉドープ領域にはＳｉのみがドープされていてもよい（すなわち、Ｍｇはドープされていなくてよい）。

[0072] なお、ｐ型コンタクト層７０のｐ側の反射電極８０と接する側にＳｉのみがドーピングされたＳｉドープ領域が設けられつつ、Ｍｇがドーピングされていない場合、当該領域は導電型としてはｎ型と考えることもできる。しかしながら、上記厚さ範囲（１～５ｎｍ）の場合であれば、Ｍｇがドーピングされていなくとも、ｐ型コンタクト層７０の最上層としてｐ型電極に接すればサイリスタにはならない。そこで、このような場合でも、Ｓｉドープ領域はｐ型コンタクト層７０の一部とみなす。

[0073] 以上説明した本実施形態に従う深紫外発光素子１００は、高い発光出力および優れた信頼性を両立することができる。

[0074] 以下、本実施形態の深紫外発光素子１００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。

[0075] ＜バッファ層＞

図２に示すように、基板１０と、ｎ型半導体層３０との間に、両者の格子不整合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としてアンドープのIII族窒化物半導体層を用いることができ、バッファ層２０を超格子構造とすることも好ましい。

[0076] ＜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る。ｎ側電極９０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２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型半導体層と電気的に接続していればよい。

[0077] ＜その他の構成＞

なお、図２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αよりもＡｌ組成比の高いＡｌＧａＮ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。

[0078] ＜ｐ型クラッド層＞

また、図２には図示しないが、ＡｌＧａＮよりなるｐ型クラッド層をｐ型電子ブロック層６０とｐ型コンタクト層７０との間に設けても構わない。ｐ型クラッド層とは、発光層４０における深紫外光を放出する層のＡｌ組成比（量子井戸構造の場合はＡｌ組成比ｗ）およびｐ型コンタクト層７０の厚さ平均Ａｌ組成比ｚより高く、一方、ｐ型電子ブロック層６０のＡｌ組成比αより低いＡｌ組成比を持つ層である。つまり、ｐ型電子ブロック層６０とｐ型クラッド層は、いずれも深紫外光を放出する層のＡｌ組成比より高いＡｌ組成比を持つ層であり、発光層４０から発光された深紫外光を実質的に透過する層である。ただし、ｐ型クラッド層は設けない方が好ましい。この理由は、特開2016-111370号公報に記載されているとおりであり、その開示内容全体が参照により本明細書に組み入れられる。なお、ｐ型クラッド層を設ける

場合、ｐ型クラッド層のＡｌ組成比をβとすると、α＞βであり、かつ、β＞ｙである。

[0079] なお、本実施形態に従う深紫外発光素子１００は、ｐ側の反射電極８０を反射電極材料により形成して深紫外光を反射させることで、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。また、深紫外発光素子１００を、いわゆるフリップチップ型と呼ばれる形態とすることができる。

[0080] （深紫外発光素子の製造方法）

次に、上述した深紫外発光素子１００の製造方法を得るための一実施形態を、図３を用いて説明する。本発明に従う深紫外発光素子１００の製造方法の一実施形態は、基板１０上に（図３ステップ３Ａ参照）、ｎ型半導体層３０を形成する工程と、ｎ型半導体層３０上に発光層４０を形成する工程と、発光層４０上にｐ型電子ブロック層６０を形成する工程（図３ステップ３Ｂ参照）と、前記ｐ型電子ブロック層上にｐ型コンタクト層を形成する工程（図３ステップ３Ｃ参照）と、前記ｐ型コンタクト層上に反射電極を形成する工程（図３ステップ３Ｄ参照）と、を具える。そして、前記ｐ型コンタクト層を形成する工程は、Ａｌ組成比ｘを有する$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層を形成する第１工程と、前記Ａｌ組成比ｘよりも低いＡｌ組成比ｙを有する$Al_yGa_{1-y}N$からなる第２層を形成する第２工程と、を交互に繰り返して超格子構造を有する前記ｐ型コンタクト層を形成し、かつ、前記第２層のＡｌ組成比ｙが０．１５以上である。そして、反射電極８０の実施形態に述べたように、反射電極を形成する工程は、超格子構造を有するｐ型コンタクト層７０上に、第１金属層８１としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程と、第１金属層８１上に第２金属層８２としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程と、前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行う第３工程と、を具える（図１Ａ参照）。また、ｐ型コンタクト層７０を形成する工程（ステップ３Ｃ参照）は、Ａｌ組成比ｘを有する$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層７１を形成する第

１工程と、ＡｌＧａＮからなる第２層７２を形成する第２工程と、を交互に繰り返して超格子構造を有するｐ型コンタクト層７０を形成する工程であり、第２層７２のＡｌ組成比ｙは０．１５以上（ｙ≧０．１５）である。

[0081] さらに、発光層４０において深紫外光を放出する層のＡｌ組成比をw_0としたときに、第１層７１のＡｌ組成比ｘはＡｌ組成比w_0よりも高く、第２層７２のＡｌ組成比ｙはＡｌ組成比ｘよりも低く、Ａｌ組成比w_0、Ａｌ組成比ｘ、Ａｌ組成比ｙおよびｐ型コンタクト層７０の厚さ平均Ａｌ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足することが好ましい。

[0082] 図３のフローチャートを参照して引き続き説明する。ただし、前述の実施形態と重複する説明については省略する。

[0083] まず、図３のステップ３Ａ，３Ｂに示すように、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。これらの各工程では、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。

[0084] ｎ型半導体層３０、発光層４０、ガイド層および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Ａｌ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NH_3ガスを用いることができる。NH_3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（CP_2Mg）などを、ｎ型ドーパントについては、Ｓｉ源として例えばモノシランガス（SiH_4）、Ｚｎ源としての塩化亜鉛ガス（$ZnCl_2$）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。

[0085] 次に、図３のステップ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、前述の第１層７１および第２層７２を繰り返した超格子構造の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Ａｌ組成比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、ＭＯＣＶＤ法などによるエピタキシャル成長によって結晶成長すればよい。

[0086] なお、ｐ型コンタクト層７０において、ｐ側の反射電極８０と接する側の高濃度領域７２のＭｇ濃度を３×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上とするためには、ｐ型コンタクト層形成工程において、以下のとおりの処理を行えばよい。すなわち、ｐ型コンタクト層形成工程において、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前述の超格子構造を結晶成長させ、結晶成長の終了直後に、III族原料ガスの流量を結晶成長時の流量の１／４以下に下げると共に、引き続きV族原料ガスおよびＭｇ原料ガスを１分以上２０分以下供給すればよい。

[0087] また、ｐ型コンタクト層７０において、ｐ側の反射電極８０と接する側に、ＭｇとＳｉの両方をドーピングするには、Ｍｇ源としてCP_2Mgガスをチャンバに供給するとともに、Ｓｉ源としてモノシランガス（SiH_4）等を流せばよい。Ｓｉのみをドーピングするのであれば、Ｍｇ源としてのCP_2Mgガスをチャンバに供給するのを止めるとともに、Ｓｉ源としてモノシランガ

ス（SiH_4）を流せばよい。なお、上記のように、ｐ型コンタクト層７０のｐ側の反射電極８０と接する側にＳｉをドーピングする場合は、上記したＭｇの高濃度領域の形成は任意である。

[0088] また、図３のステップＤに示すように、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。なお、ｎ側電極９０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。また、バッファ層２０を基板１０の表面１０Ａ上に形成することも好ましい。

実施例

[0089] 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。

[0090]（実施例１）

図１Ａ及び図３に示した工程図に従って、発明例１に係る深紫外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：４３０μｍ、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０．６０μｍ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。

[0091] 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。

[0092] 続いて、ＭＯＣＶＤ法により、アンドープの$Al_{0.55}Ga_{0.45}N$からなる

厚さ１μｍのバッファ層を形成した。次に、$Al_{0.45}Ga_{0.55}N$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１．０×10^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}であった。

[0093] さらに、ｎ型半導体層上に、$Al_{0.29}Ga_{0.71}N$からなる厚さ３ｎｍの井戸層および$Al_{0.51}Ga_{0.49}N$からなる厚さ７ｎｍの障壁層を交互に3組繰り返して積層した発光層を形成した。井戸層のAl組成比ｗは０．２９である。次いで、発光層上にAlNからなら厚さ1nmのガイド層を形成した。なお、障壁層を形成する際にはＳｉドープし、井戸層及びガイド層を形成する際にはアンドープとした。

[0094] その後、ガイド層上に、水素ガスをキャリアガスとして、$Al_{0.58}Ga_{0.42}N$からなる厚さ４０ｎｍのｐ型電子ブロック層を形成した。ｐ型電子ブロック層の形成にあたり、Ｍｇ源としてCP_2Mg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５．０×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}であった。

[0095] 続いて、ｐ型電子ブロック層の直上に第１層として$Al_{0.47}Ga_{0.53}N$を形成し、次いで第２層として$Al_{0.31}Ga_{0.69}N$を形成し、両者の形成を７組繰り返して、合計１４層の超格子構造のｐ型コンタクト層を形成した。なお、第１層の厚さを５．０ｎｍ、第２層の厚さを２．５ｎｍとし、ｐ型コンタクト層の厚さの合計は５２．５ｎｍであり、厚さ平均のAl組成は０．４２とした。また、ｐ型コンタクト層の形成にあたっては、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CP_2Mgガスをチャンバに供給してＭｇをドープしたｐ型コンタクト層を結晶成長させた。その後、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。

[0096] 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組成比を決定した。

[0097] 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Ｍｇ濃度は１×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}であり、ｐ型電子ブロック層と反対のｐ側の反射電極８０を形成する表面側のＭｇを高濃度とした側（高濃度領域）のＭｇ濃度は３×１０^{20}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}であった。

[0098] 実施例１の層構造を表１に示す。

[0099]

[表1]

	Al 組成比	ドーパント	厚さ
p型コンタクト層	0.31	Mg	2.5nm
	0.47		5.0nm
	0.31		2.5nm
	0.47		5.0nm
	0.31		2.5nm
	0.47		5.0nm
	0.31		2.5nm
	0.47		5.0nm
	0.31		2.5nm
	0.47		5.0nm
	0.31		2.5nm
	0.47		5.0nm
	0.31		2.5nm
	0.47		5.0nm
p 型電子ブロック層	0.58	Mg	40nm
ガイド層	1.0	−	1nm
発光層	0.29	−	3nm
	0.51	Si	7nm
	0.29	−	3nm
	0.51	Si	7nm
	0.29	−	3nm
	0.51	Si	7nm
n 型半導体層	0.45	Si	2 μm
アンドープ層	0.55	−	1 μm
AlN層	1	−	0.6 μm
サファイア基板	−	−	430 μm

[0100] 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。次に、ｐ型コンタクト層の最表面の第２層（$Al_{0.31}Ga_{0.69}N$）上に、電子ビーム蒸着法を用いて、厚さ７nmのNi層（第１金属層）と、Ni層上の厚さ50nmのRh層（第２金属層）とを順に形成した。Ni層とRh層は、水晶振動子の膜厚計（CRTM-9000G；ulvac社製）を用いて厚さ測定を行った。振動子には、金メッキ、固有周波数4.5MHz～5.0MHzを使用した。水晶振動子の検量線（校正）には、目的の金属の単膜を100nm以上の膜厚で成膜し、成膜有無間の段差を、触針式段差計（Tencor社製 P-6）を用いて計測することにより行った。

また、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。Ｔｉの厚さは２０nmであり、Ａｌの厚さは１５０nmである。

最後に、RTA装置（アドバンス理工製；赤外線ランプアニール加熱装置）を用いて最高到達温度５５０℃に10分間保持して、オーミックコンタクトのための熱処理を行い、NiとRhからなる反射電極を形成した。なお、RTA装置内での熱処理雰囲気は、N_2とO_2の混合ガスとし、混合ガス中のN_2流量を1.0slm,O_2流量を0.5slmとした。サファイア基板をレーザースクライブしてチップサイズ１０００μｍ×１０００μｍに個片化し、実施例１に係る深紫外発光素子を作製した。

[0101] サファイア基板上に厚さ７nmのNi層（第1金属層）と厚さ50nmのRh層（第2金属層）を成膜し、上記の熱処理工程後において透明なサファイア基板側から反射電極に向けて紫外可視分光光度計（日本分光製；V－650）を用いて波長に対する反射率を測定したところ、波長300nmに対する反射率は６２％であった。

[0102]（実施例２）

実施例１における混合ガス雰囲気に代えて、RTA装置内での熱処理雰囲気をN_2ガス（N_2流量1.5slm）とした以外は、実施例１と同様にして実施例２に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0103]（実施例３）

第1層のAl組成比ｘを０．４３とし、第2層のAl組成ｙを０．２７とした以外は、実施例１と同様にして実施例３に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0104] （比較例１）

実施例１における反射電極のNiの厚さを2nmに変えた以外は、実施例１と同様にして、比較例１に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0105] サファイア基板上に厚さ2nmのNi層（第1金属層）と厚さ50nmのRh層（第2金属層）を成膜し、上記の熱処理工程後において透明なサファイア基板側から反射電極に向けて紫外可視分光光度計（日本分光製；V－650）を用いて波長に対する反射率を測定したところ、波長300nmに対する反射率は６７％であった。

[0106] （比較例２）

実施例１における反射電極のNiを設けなかった以外は、実施例１と同様にして、比較例２に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0107] （比較例３）

実施例１における超格子構造のｐ型コンタクト層（合計厚さ52.5nm）を、$Al_{0.42}Ga_{0.58}N$層の厚さ50nmの単層構造に変えた以外は実施例１と同様として、比較例３に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0108] （比較例４）

実施例１におけるNiとRhからなる反射電極を、厚さ１０nmのNi層と、Ni層上の厚さ20nmのAu層とを順に形成したものに変えた以外は、実施例１と同様にして比較例４に係る深紫外発光素子を作製し発光出力を評価した。

[0109] （比較例５）

実施例１におけるNiとRhからなる反射電極を、厚さ１０nmのNi層と、Ni層上の厚さ20nmのAu層とを順に形成したものに変え、第1層のAl組成比ｘを０．４３とし、第2層のAl組成ｙを０．２７とした以外は、実施例１と同様にして比較例５に係る深紫外発光素子の発光出力を評価した。

[0110] （比較例１１～１３）

実施例１における超格子構造のｐ型コンタクト層を、ＡｌＧａＮ層の単層構造に替え、そのＡｌ組成比および厚さを表３に記載のとおりとし、反射電極にNiを用いなかった。また、チップサイズを560μm×780μmとした以外は、実施例１と同様にして比較例１１～１３に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0111] （評価１：Po、Vf評価）

実施例１～３および比較例１～５で得られた発光素子（チップサイズ□１０００μｍ）を、フリップチップ方式で球状Auバンプを用いてAlN製サブマウント（サイズ20mm×15mm、厚さ0.8mm）に実装した。さらにAlN製サブマウントにAl製ヒートシンクを接続した状態で、定電流電源装置を用いて350mAの通電を行い、その際の順方向電圧を測定すると共にサファイア基板側に配置した受光部によりフォトディテクターによる発光出力の測定を行った。結果を表２に示す。なお、スペクトルアナライザによる発光波長の測定を行ったところ、発光中心波長はいずれも３１０nmであった。値は測定個数１０個の平均値である。

[0112] （評価２：信頼性評価その１）

実施例および比較例１～５に対して、上記評価１の測定を行った後、350mAを160時間連続通電した。連続通電後に出力を再測定して初期出力と比較し、不点灯あるいは初期の発光出力から半減以下へ出力の急減が有る場合に頓死があったと判定した。測定個数１０個のうち、頓死したチップの比率を表２に示す。

[0113] （評価３：信頼性評価その２）

比較例１１～１３については、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あとの、露出したｎ型半導体層とｐ型コンタクト層に対し、サイズ560μm×780μｍの小型チップをAuバンプを用いてAlN製サブマウント（サイズ：1.5×1.1mm厚さ：0.2mm）に実装し、２０ｍAを通電した際の発光出力と順方向電厚を測定した。値は測定個数１０個の平均値である。さらに、ウェーハ内１０

か所から抜き取ったチップについて、電流２０ｍＡで通電して初期の発光出力を確認し、次いで、電流を20ｍＡで250時間連続通電し、通電後に初期の発光出力から半減以下の出力となる（すなわち、頓死した）チップの比率を表３に示す。なお、発光出力の測定にあたっては、サファイア基板面側に配置したフォトディテクターを用いた。

[表2]

	作製条件							評価		
	p型コンタクト層			反射電極		RTA 熱処理 雰囲気		発光出力 Po [mW]	順方向 電圧 Vf [V]	頓死発生率 [%]
	第1層 Al組成比 x	第2層 Al組成比 y	厚さ平均 Al組成比 z	Ni層	反射層	酸素ガスの有無				
実施例1	0.47	0.31	0.42	7nm	Rh: 50nm	あり		123	6.1	0
実施例2	0.47	0.31	0.42	7nm	Rh: 50nm	なし		123	6.5	0
実施例3	0.43	0.27	0.38	7nm	Rh: 50nm	あり		115	6.0	0
比較例1	0.47	0.31	0.42	2nm	Rh: 50nm	あり		121	7.0	20
比較例2	0.47	0.31	0.42	なし	Rh: 40nm	あり		101	7.9	100
比較例3	0.42（単層）		0.42	7nm	Rh: 50nm	あり		120	6.1	100
比較例4	0.47	0.31	0.42	10nm	Au: 20nm	あり		80	5.9	0
比較例5	0.43	0.27	0.38	10nm	Au: 20nm	あり		79	5.7	0

[0114] [表3]

	作製条件			評価	
	p型コンタクト層		電極		
	Al 組成	厚さ [nm]		Po [mW]	頓死 [%]
比較例１１	0.31	50	Rh: 40nm	6.6	100
比較例１２	0.46	50	Rh: 40nm	10	100
比較例１３	0.51	50	Rh: 40nm	11	100

[0115] なお、第１層の厚さは５．０ｎｍ、第２層の厚さは２．５ｎｍのため、ｐ型コンタクト層の厚さ平均ＡｌＩ組成比ｚは、［ｚ＝（２／３）ｘ＋（１／３）ｙ］として算出される。実施例１および２では、$z-w_0=0.42-0.29=0.13$であり、$x-y=0.47-0.31=0.16$である。

よって、下記［１］と［２］式の条件を同時に満足する。

$$0.030<z-w_0<0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x-y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

[0116] （評価結果の考察）

比較例１～３で頓死が発生したのは、ｐ型コンタクト層とｐ側の反射電極界面におけるコンタクト不良が発生したためだと考えられる。一方、実施例１～３では、ｐ型コンタクト層が超格子構造を有し、かつNi層が十分な厚さを有するため、コンタクト不良が発生しなかったと推定される。また、比較例４，５と実施例１～３との比較により、NiとRhからなる反射電極は、順方向電圧を大きく変えることなく発光出力の増大に効果があることが分かる。

[0117] 以上の結果から、本発明条件を満足するｐ側の反射電極を超格子構造のｐ型コンタクト層上に形成することにより、高い発光出力を得ることができるとともに、信頼性を両立できることが確認できた。

[0118] （実施例４）

実施例１～３では発光中心波長３１０ｎｍであったところ、これに代えて発光中心波長が２８０nmとなる深紫外発光素子により実験を行った。実施例１における各半導体層のＡｌ組成比を下記表４に記載のとおりに変えた以外は実施例１と同様にして実施例４に係る深紫外発光素子を作製した。なお、ＡｌＮテンプレート基板上のアンドープのＡｌＧａＮ層は、Al組成比０．８５から０．６５まで結晶成長方向に組成傾斜させることで形成した。

[0119]

[表4]

	Al 組成比	ドーパント	厚さ
p型コンタクト層	0.35	Mg	2.5nm
	0.71		5.0nm
	0.35		2.5nm
	0.71		5.0nm
	0.35		2.5nm
	0.71		5.0nm
	0.35		2.5nm
	0.71		5.0nm
	0.35		2.5nm
	0.71		5.0nm
	0.35		2.5nm
	0.71		5.0nm
	0.35		2.5nm
	0.71		5.0nm
p 型電子ブロック層	0.68	Mg	40nm
ガイド層	1.0	−	1nm
発光層	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	2μm
アンドープ層	0.65 | 0.85	−	200nm
AlN層	1	−	0.6μm
サファイア基板	−	−	430μm

[0120] （比較例６）

実施例４におけるNiとRhからなる反射電極を、厚さ１０nmのNi層と、Ni層上の厚さ20nmのAu層とを順に形成したものに変えた以外は、実施例４と同様にして比較例６に係る深紫外発光素子を作製し発光出力を評価した。

[0121] （比較例７）

実施例４における超格子構造のｐ型コンタクト層（合計厚さ52.5nm）を、$Al_{0.59}Ga_{0.41}N$層の厚さ50nmの単層構造に変えた以外は実施例１と同様として、比較例３に係る深紫外発光素子を作製し評価した。

[0122] （評価４）

実施例４および比較例６，７（いずれも実施例１と同様チップサイズ１０００μｍ×１０００μｍ）に対して、上述の評価１と同様にして発光出力Po及び順方向電圧Vfを測定評価した。結果を表５に示す。次いで、この測定を行った後、350mAを20時間連続通電した。連続通電後に出力を再測定して初期出力と比較し、不点灯あるいは初期の発光出力から半減以下へ出力の急減が有る場合に頓死があったと判定した。測定個数１０個のうち、頓死したチップの比率を表５に併せて示す。

[0123]

[表5]

	作製条件							評価		
	p型コンタクト層			反射電極			RTA 熱処理 雰囲気	発光出力 Po [mW]	順方向 電圧 Vf [V]	頓死発生率 [%]
	第1層 Al組成比 x	第2層 Al組成比 y	厚さ平均 Al組成比 z	Ni層	反射層		酸素ガスの有無			
実施例4	0.71	0.35	0.59	7nm	Rh: 50nm		あり	100	7.1	0
比較例6	0.71	0.35	0.59	10nm	Au: 20nm		あり	75	7.0	0
比較例7	0.59(単層)		0.59	7nm	Rh: 50nm		あり	105	8.1	100

[0124] 実施例４では、ｚ－w_0＝０．５９－０．４５＝０．１４であり、ｘ－ｙ＝０．７１－０．３５＝０．３６である。よって、下記［１］と［２］式の条件を同時に満足する。

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

[0125]（評価結果の考察）

比較例７で頓死が発生したのは、比較例３と同様、ｐ型コンタクト層とｐ側の反射電極界面におけるコンタクト不良が発生したためだと考えられる。一方、実施例４では、ｐ型コンタクト層が超格子構造を有し、かつNi層が十分な厚さを有するため、コンタクト不良が発生しなかったと推定される。また、実施例４と比較例６とを比較すると、NiとRhからなる反射電極は、順方向電圧を大きく変えることなく発光出力の増大に効果があることが分かる。

[0126]（実施例５）

実施例４と同様にして各半導体層を形成し、次いで、電子ビーム蒸着法を用いて、厚さ７ｎｍのＮｉ層（第１金属層）と、Ｎｉ層上の厚さ５０ｎｍのＲｈ層（第２金属層）とを順に形成した。続けて、そのＲｈ層（第２金属層）の上に第３金属層として厚さ３ｎｍのＮｉ層を形成し、次いで第４金属層として厚さ２０ｎｍのＲｈ層を順に形成した。その後、実施例４と同様に、オーミックコンタクトのための熱処理を行った。その他の作製条件は実施例４と同様である。こうして、実施例５に係る深紫外発光素子を作製した。なお、ｐ型電子ブロック層およびｐ型コンタクト層のｐ型層の合計厚さは９２．５ｎｍである。

[0127]（比較例８）

実施例５ではＲｈ層（第２金属層）の上に第３金属層として厚さ３ｎｍのＮｉ層を形成し、次いで第４金属層として厚さ２０ｎｍのＲｈ層を順に形成したところ、Ｒｈ層（第２金属層）の上に厚さ２０ｎｍのＡｕ層を形成した以外は、実施例５と同様にして比較例８に係る深紫外発光素子を作製した。

[0128] （比較例９）

実施例５ではＲｈ層（第２金属層）の上に第３金属層として厚さ３ｎｍのＮｉ層を形成し、次いで第４金属層として厚さ２０ｎｍのＲｈ層を順に形成したところ、Ｒｈ層（第２金属層）の上に第３金属層として厚さ３ｎｍのＮｉ層を、第４金属層として厚さ２０ｎｍのＡｕ層を順に形成した以外は、実施例５と同様にして比較例９に係る深紫外発光素子を作製した。

[0129] （評価５）

評価４では連続通電時間を２０時間としていたところ、これを１６８時間および１０００時間に時間を延ばして連続通電した以外は評価４と同様にして、上記の実施例と比較例の頓死の有無を確認した。評価５による評価結果を表６に示す。

[0130]

[表6]

	作製条件								評価	
	p型コンタクト層			反射電極				RTA 熱処理 雰囲気	頓死発生率 [%]	
	第1層 Al組成比 x	第2層 Al組成比 y	厚さ平均 Al組成比 z	Ni層 (第1層)	反射層	第3層	第4層	酸素ガスの 有無	168h後	1000h後
実施例5	0.71	0.35	0.59	7nm	Rh: 50nm	Ni: 3nm	Rh: 20nm	あり	0	0
比較例8	0.71	0.35	0.59	7nm	Rh: 50nm	Au: 20nm	–	あり	100	–
比較例9	0.71	0.35	0.59	7nm	Rh: 50nm	Ni: 3nm	Au: 20nm	あり	80	–

[0131] 表６より、本発明に従う超格子構造のｐ型コンタクト層と、Ｎｉ及びＲｈ

の反射電極との組み合わせによって頓死発生が抑制されても、Ｒｈ層（第２金属層）上にＡｕが存在した状態では、第３工程などの加熱を経てＡｕが反射電極中を拡散すると、頓死が生じる恐れがあることが分かった。そして、ＮｉとＲｈの反射電極を、ＮｉとＲｈの層順を複数回繰り返す積層構造にすることで、長時間にわたり頓死発生率を抑制できることが分かった。

[0132] （実施例６）

ｐ型電子ブロック層の厚さ４０ｎｍから３３ｎｍに変更した以外は、実施例５と同様にして実施例６に係る深紫外発光素子を作製し評価した。ｐ型電子ブロック層およびｐ型コンタクト層のｐ型層の合計厚さは８５．５ｎｍである。

[0133] （実施例７）

ｐ型コンタクト層の第１層の厚さを５ｎｍから２．５ｎｍへと薄くし、厚さ平均ＡＩ組成比ｚを０．５３とした以外は、実施例５と同様にして、実施例７に係る深紫外発光素子を作製し評価した。前記ｐブロック層および前記ｐ型コンタクト層のｐ型の合計厚さは７５ｎｍである。

[0134] 実施例６、７について、上記評価５と同様にして頓死の有無を確認した。上記実施例６、７の作製条件及び評価結果を、比較のために先に説明した実施例５、比較例６と併せて下記表７に示す。

[0135]

[表7]

	作製条件								評価			
	p型電子ブロック層の厚さ [nm]	p型コンタクト層					p型層の合計厚さ [nm]	反射電極	発光出力 Po [mW]	順方向電圧 Vf [V]	頓死発生率 [%]	
		第1層 Al組成比 x	第1層 厚さ [nm]	第2層 Al組成比 y	第2層 厚さ [nm]	厚さ平均 Al組成比 z					168h後	1000h後
実施例5	40	0.71	5.0	0.35	2.5	0.59	92.5	Ni/Rh/Ni/Rh	79	7.5	0	0
実施例6	33	0.71	5.0	0.35	2.5	0.59	85.5	Ni/Rh/Ni/Rh	83	6.8	0	0
実施例7	40	0.71	2.5	0.35	2.5	0.53	75.0	Ni/Rh/Ni/Rh	79	7.0	0	0
比較例6	40	0.71	5.0	0.35	2.5	0.59	92.5	Ni/Au	75	7.0	0	40

[0136] 表７より、ｐ型電子ブロック層６０の厚さとｐ型コンタクト層７０の厚さの合計（ｐ型層の合計厚さ）を調整することで、発光出力をさらに向上させることができることが分かった。ｐ型層の合計厚さは。６５ｎｍ以上１００ｎｍ以下であることが好ましく、７０ｎｍ以上９５ｎｍ以下とすることがより好ましい。そして、ＮｉとＡｕを用いた電極よりも、発光出力が高くなり、かつ、信頼性が高い電極を得ることができた。

産業上の利用可能性

[0137] 本発明によれば、高い発光出力および優れた信頼性を両立できる深紫外発光素子用の反射電極の製造方法を提供することができる。さらに本発明は、当該反射電極を用いた深紫外発光素子の製造方法及びそれにより得られる深紫外発光素子を提供することができる。

符号の説明

[0138] １０ 基板
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 第１層
７２ 第２層
８０ 反射電極
８１ 第１金属層
８２ 第２金属層
８３ 第３金属層
８４ 第４金属層
９０ ｎ側電極

１００　深紫外発光素子

請求の範囲

[請求項1] 超格子構造を有するｐ型コンタクト層上に、

第１金属層としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程と、

前記第１金属層上に第２金属層としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程と、

前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００℃以上６００℃以下の加熱処理を行う第３工程と、

を具えることを特徴とする深紫外発光素子用の反射電極の製造方法。

[請求項2] 前記第３工程における加熱処理を行うときの雰囲気ガスが酸素を含む、請求項１に記載の深紫外発光素子用の反射電極の製造方法。

[請求項3] 前記第２工程の後に、前記第２金属層上に、第３金属層としてＮｉ層を形成する工程と、前記第３金属層上に第４金属層としてＲｈ層を形成する工程をさらに含む、請求項１又は２に記載の深紫外発光素子用の反射電極の製造方法。

[請求項4] 基板上に、ｎ型半導体層を形成する工程と、

前記ｎ型半導体層上に発光層を形成する工程と、

前記発光層上にｐ型電子ブロック層を形成する工程と、

前記ｐ型電子ブロック層上にｐ型コンタクト層を形成する工程と、

前記ｐ型コンタクト層上に反射電極を形成する工程と、

を具える深紫外発光素子の製造方法であって、

前記ｐ型コンタクト層を形成する工程は、ＡｌＮ組成比ｘを有する$Al_xGa_{1-x}N$からなる第１層を形成する第１工程と、前記ＡｌＮ組成比ｘよりも低いＡｌＮ組成比ｙを有する$Al_yGa_{1-y}N$からなる第２層を形成する第２工程と、を交互に繰り返して超格子構造を有する前記ｐ型コンタクト層を形成し、かつ、前記第２層のＡｌＮ組成比ｙが０．１５以上であり、

前記反射電極を形成する工程は、

前記ｐ型コンタクト層の最表面の前記第２層上に、

第１金属層としてNiを３～２０nmの厚さで形成する第１工程と、

前記第１金属層上に第２金属層としてRhを２０nm以上２μｍ以下の厚さで形成する第２工程と、

前記第１金属層及び前記第２金属層に対して３００～６００℃の加熱処理を行う第３工程と、

を具えることを特徴とする深紫外発光素子の製造方法。

[請求項5] 前記ｐ型コンタクト層の超格子構造において、

前記発光層において深紫外光を放出する層のＡｌ組成比をw_0としたときに、

前記第１層の前記Ａｌ組成比ｘは前記Ａｌ組成比w_0よりも高く、

前記第２層の前記Ａｌ組成比ｙは前記Ａｌ組成比ｘよりも低く、

前記Ａｌ組成比w_0、前記Ａｌ組成比ｘ、前記Ａｌ組成比ｙ、および前記ｐ型コンタクト層の厚さ平均Ａｌ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足する、請求項４に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[請求項6] 前記発光層における前記ｐ型電子ブロック層に最も近い井戸層と、前記ｐ型電子ブロック層との間に、前記発光層の障壁層及び前記ｐ型電子ブロック層のいずれのＡｌ組成比よりもＡｌ組成比の高いガイド層をさらに有する、請求項５に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[請求項7] 前記ガイド層はＡｌＮからなる、請求項６に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[請求項8] 前記Ａｌ組成比w_0は、０．２５以上０．６０以下である、請求項５～７のいずれか１項に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[請求項9] 前記ｐ型電子ブロック層と前記ｐ型コンタクト層とのｐ型層の合計

厚さが、６５～１００ｎｍである、請求項４～８のいずれか１項に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[請求項10] 前記第２工程の後に、前記第２金属層上に、第３金属層としてＮｉ層を形成する工程と、前記第３金属層上に第４金属層としてＲｈ層を形成する工程をさらに含む、請求項４～９のいずれか１項に記載の深紫外発光素子の製造方法。

[請求項11] 基板上に、ｎ型半導体層、発光層、ｐ型電子ブロック層およびｐ型コンタクト層を順次有し、

前記ｐ型コンタクト層は、ＡＩ組成比ｘを有する$AlxGa1-xN$からなる第１層と、ＡＩ組成比ｙを有する$AlyGa1-yN$からなる第２層と、を交互に積層してなる超格子構造を有し、かつ、前記第２層の前記ＡＩ組成比ｙが０．１５以上であり、

前記ｐ型コンタクト層の最表面の前記第２層上に、NiとRhからなる反射電極を有することを特徴とする深紫外発光素子。

[請求項12] 前記ｐ型コンタクト層の超格子構造において、

前記発光層において深紫外光を放出する層のＡＩ組成比をw_0としたときに、

前記第１層の前記ＡＩ組成比ｘは前記ＡＩ組成比w_0よりも高く、

前記第２層の前記ＡＩ組成比ｙは前記ＡＩ組成比ｘよりも低く、

前記ＡＩ組成比w_0、前記ＡＩ組成比ｘ、前記ＡＩ組成比ｙ、および前記ｐ型コンタクト層の厚さ平均ＡＩ組成比ｚは下記式［１］、［２］：

$$0.030 < z - w_0 < 0.20 \quad \cdots [1]$$

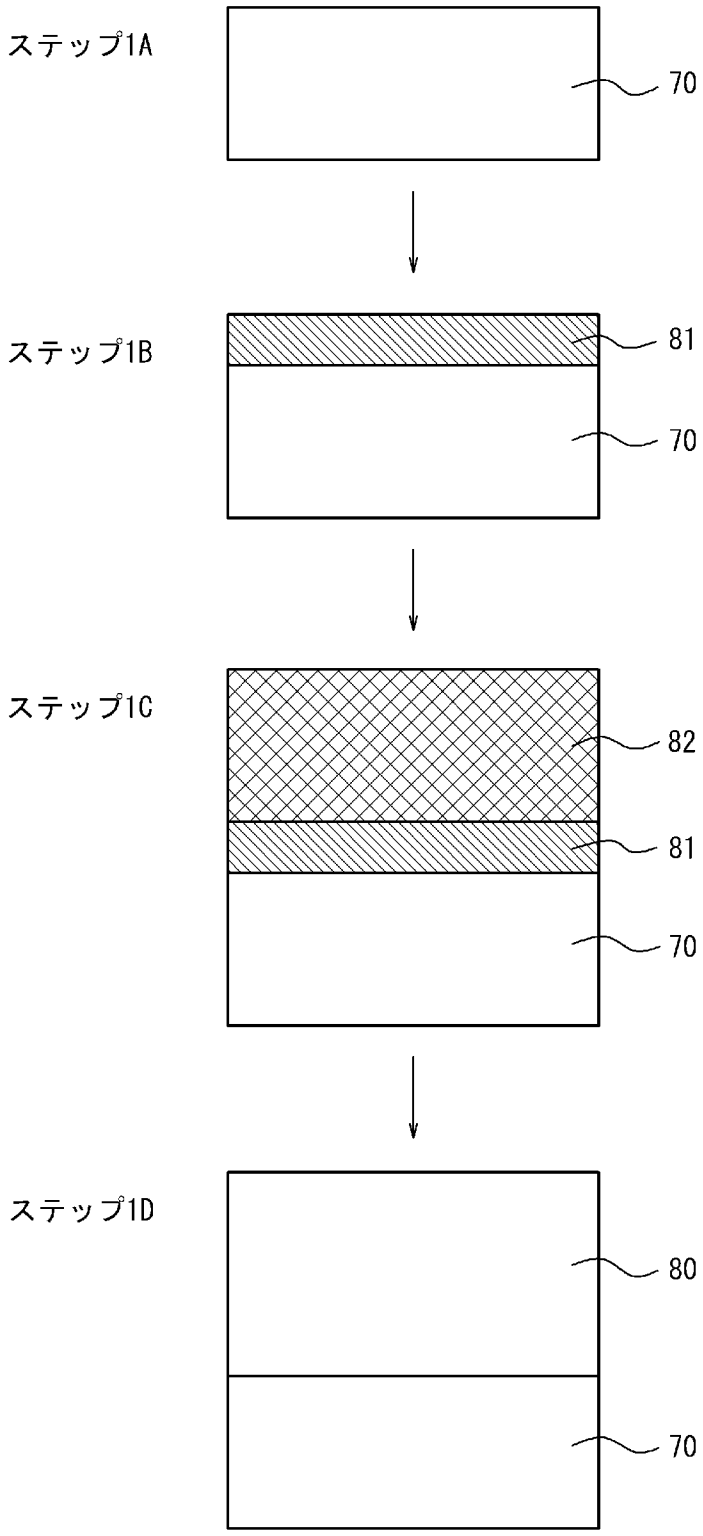
$$0.050 \leqq x - y \leqq 0.47 \quad \cdots [2]$$

を満足する、請求項１１に記載の深紫外発光素子

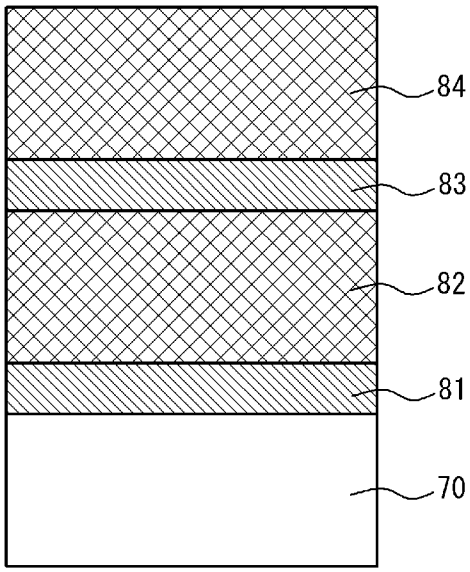
[請求項13] 前記ｐ型電子ブロック層と前記ｐ型コンタクト層とのｐ型層の合計

厚さが、６５～１００㎚である、請求項１１又は１２に記載の深紫外発光素子。

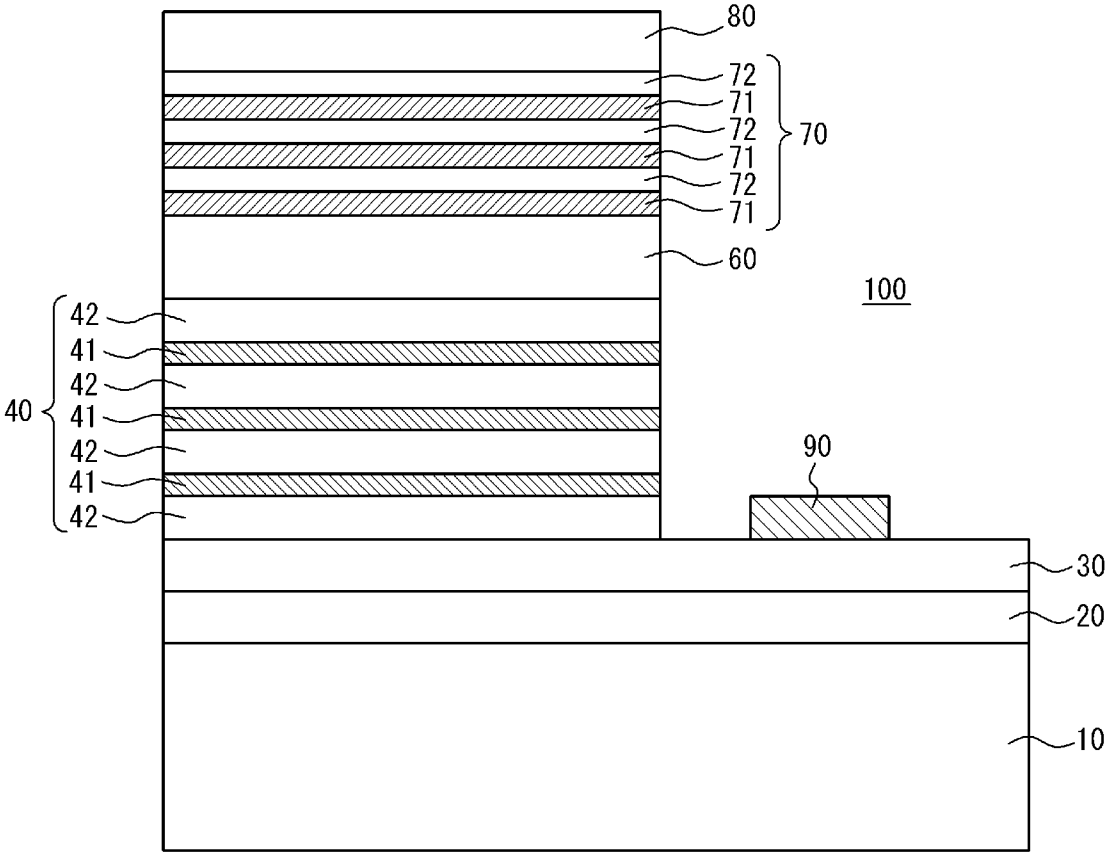
[図1A]



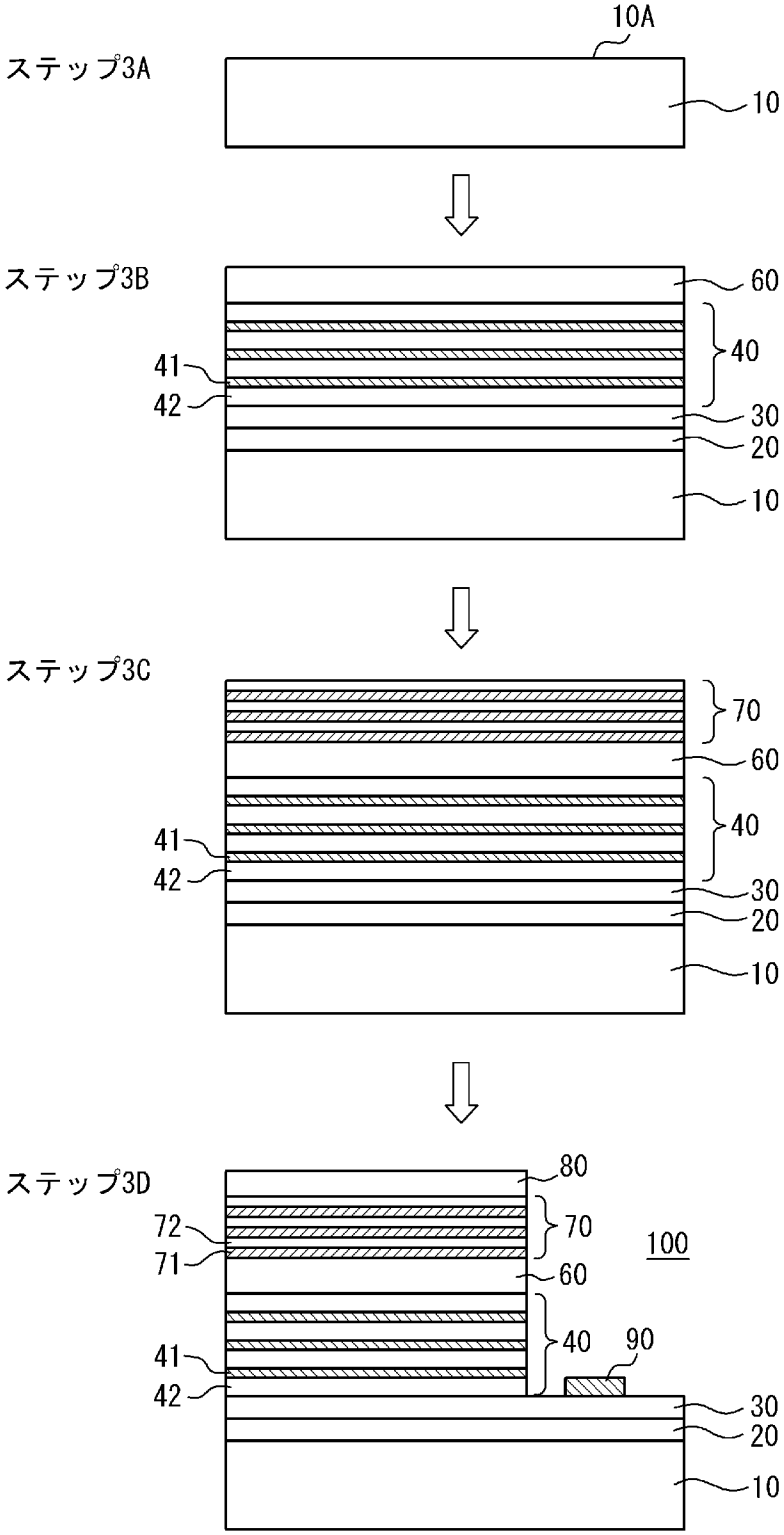
[図1B]



[図2]



[図3]


ステップ3A
10A
10
ステップ3B
60
40
41
42
30
20
10
ステップ3C
70
60
40
41
42
30
20
10
ステップ3D
80
72
71
70
100
60
40
90
41
42
30
20
10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/001761

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L 33/04(2010.01)i; H01L 33/32(2010.01)i; H01L 33/40(2010.01)i; H01L 21/28(2006.01)i; H01L 29/41(2006.01)i
FI: H01L33/40; H01L33/32; H01L33/04; H01L21/28 301R; H01L21/28 B; H01L29/44 S; H01L21/28 301B
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)
H01L33/04; H01L33/32; H01L33/40; H01L21/28; H01L29/41

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
Science Direct; IEEE Xplore; Wiley Online Library; Scopus; SPIE Digital Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2018/181044 A1 (DOWA ELECTRONICS MATERIALS CO., LTD.) 04.10.2018 (2018-10-04) paragraphs [0026]-[0057], [0058]-[0094], fig. 1-5	1-2, 4-9, 11-13 3, 10
Y A	PARK, Jeong-Woo, SONG, June-O, LEEM, Dong-Seok, and SEONG Tae-Yeon, "Low-Resistance and Reflective Ni/Rh and Ni/Au/Rh Contacts to p-GaN for Flip-Chi1 LEDs", Electrochemical and Solid-State Letters, 29 November 2004, vol. 8(1), G17-G19 page G17, left column, line 22 to page G18, left column, line 8, fig. 1-2	1-2, 4-9, 11-13 3, 10
Y A	JP 2002-280610 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 27.09.2002 (2002-09-27) paragraphs [0035]-[0044], fig. 5	1-2, 4-9, 11-13 3, 10

☒ 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	Date of mailing of the international search report
17 March 2020 (17.03.2020)	24 March 2020 (24.03.2020)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/001761

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TAKANO, Takayoshi, MINO, Takuya, SAKAI, Jun, NOGUCHI, Norimichi, TSUBAKI, Kenji, and HIRAYAMA, Hideki, "Deep-ultraviolet light-emitting diodes with external quantum efficiency higher than 20% at 275 nm achieved by improving light-extraction efficiency", Applied Physics Express, 14 February 2017, vol. 10, 031002 (4 pages) page 1, right column, line 3 to page 2, left column, line 14, page 2, left column, line 30 to page 3, left column, line 30, fig. 1-4	1-13
A	JP 2012-248765 A (SHOWA DENKO KABUSHIKI KAISHA) 13.12.2012 (2012-12-13) paragraphs [0019]-[0061], [0063]-[0099], fig. 1	1-13
A	JP 2012-182211 A (TOSHIBA CORP.) 20.09.2012 (2012-09-20) paragraphs [0050]-[0073]	1-13
A	WO 2017/017891 A1 (DOWA ELECTRONICS MATERIALS CO., LTD.) 02.02.2017 (2017-02-02) paragraphs [0023]-[0044], [0045]-[0069], fig. 1, 4	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/001761

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2018/181044 A1	04 Oct. 2018	CN 110462851 A paragraphs [0066]-[0114], [0116]-[0180], fig. 1-5 KR 10-2019-0125356 A TW 201841385 A	
JP 2002-280610 A	27 Sep. 2002	(Family: none)	
JP 2012-248765 A	13 Dec. 2012	(Family: none)	
JP 2012-182211 A	20 Sep. 2012	US 2015/0072459 A1 paragraphs [0074]-[0107] US 2012/0217531 A1 JP 4940363 B1	
WO 2017/017891 A	02 Feb. 2017	US 2019/0006558 A1 paragraphs [0034]-[0055], [0056]-[0071], fig. 1, 4 KR 10-2018-0036701 A EP 3331035 A CN 107851689 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/001761

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 33/04(2010.01)i; H01L 33/32(2010.01)i; H01L 33/40(2010.01)i; H01L 21/28(2006.01)i; H01L 29/41(2006.01)i
FI: H01L33/40; H01L33/32; H01L33/04; H01L21/28 301R; H01L21/28 B; H01L29/44 S; H01L21/28 301B

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））

H01L33/04; H01L33/32; H01L33/40; H01L21/28; H01L29/41

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	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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）

Science Direct; IEEE Xplore; Wiley Online Library; Scopus; SPIE Digital Library

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	WO 2018/181044 A1 (DOWAエレクトロニクス株式会社) 04.10.2018 (2018-10-04) 0026-0057, 0058-0094, 図1-5	1-2, 4-9, 11-13
A		3, 10
Y	PARK, Jeong-Woo, SONG, June-O, LEEM, Dong-Seok, and SEONG Tae-Yeon, Low-Resistance and Reflective Ni/Rh and Ni/Au/Rh Contacts to p-GaN for Flip-Chip LEDs, Electrochemical and Solid-State Letters, 2004.11.29, Vol. 8(1), G17-G19 G17頁左欄第22行～G18頁左欄第8行, Figs. 1-2	1-2, 4-9, 11-13
A		3, 10
Y	JP 2002-280610 A (日本電信電話株式会社) 27.09.2002 (2002-09-27) 0035-0044, 図5	1-2, 4-9, 11-13
A		3, 10

☑ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
17.03.2020	24.03.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
吉野　三寛 2K 4783
電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
A	TAKANO, Takayoshi, MINO, Takuya, SAKAI, Jun, NOGUCHI, Norimichi, TSUBAKI Kenji, and HIRAYAMA Hideki, Deep-ultraviolet light-emitting diodes with external quantum efficiency higher than 20% at 275 nm achieved by improving light-extraction efficiency, Applied Physics Express, 2017.02.14, Vol.10, 031002 (4 pages) 第1頁右欄第3行－第2頁左欄第14行, 第2頁左欄第30行－第3頁左欄第30行, Figs.1-4	1-13
A	JP 2012-248765 A (昭和電工株式会社) 13.12.2012 (2012-12-13) 0019-0061, 0063-0099, 図1	1-13
A	JP 2012-182211 A (株式会社東芝) 20.09.2012 (2012-09-20) 0050-0073	1-13
A	WO 2017/017891 A1 (DOWAエレクトロニクス株式会社) 02.02.2017 (2017-02-02) 0023-0044, 0045-0069, 図1, 4	1-13

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2020/001761

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2018/181044 A1	04.10.2018	CN 110462851 A 0066-0114, 0116-0180, 図1-5 KR 10-2019-0125356 A TW 201841385 A	
JP 2002-280610 A	27.09.2002	（ファミリーなし）	
JP 2012-248765 A	13.12.2012	（ファミリーなし）	
JP 2012-182211 A	20.09.2012	US 2015/0072459 A1 0074-0107 US 2012/0217531 A1 JP 4940363 B1	
WO 2017/017891 A1	02.02.2017	US 2019/0006558 A1 0034-0055, 0056-0071, Figs 1, 4 KR 10-2018-0036701 A EP 3331035 A CN 107851689 A	