

(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
2010 年 9 月 10 日(10.09.2010)

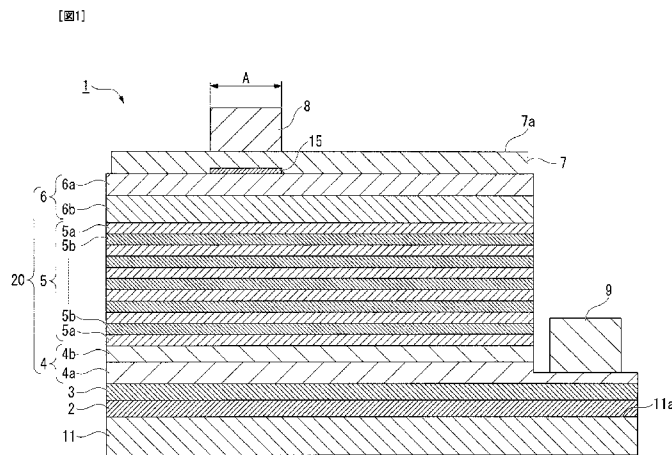
(10) 国際公開番号
WO 2010/100900 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/38 (2010.01) H01L 33/42 (2010.01)
H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/001418
- (22) 国際出願日: 2010 年 3 月 2 日(02.03.2010)
- (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 2009-048239 2009 年 3 月 2 日(02.03.2009) JP
特願 2010-042485 2010 年 2 月 26 日(26.02.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 昭和電工株式会社(SHOWA DENKO K.K.) [JP/JP]; 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目 1 3 番 9 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平岩大介 (HIRAIWA, Daisuke) [JP/JP]; 〒2900067 千葉県市原市八幡海岸通 5 番の 1 昭和電工株式会社
- 内 Chiba (JP). 篠原裕直 (SHINOHARA, Hironao) [JP/JP]; 〒2900067 千葉県市原市八幡海岸通 5 番の 1 昭和電工株式会社内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 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, 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, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME, AND LAMP

(54) 発明の名称: I I I 族窒化物半導体発光素子及びその製造方法、並びにランプ



(57) Abstract: Disclosed is a group III nitride semiconductor light-emitting element, wherein excellent light emission efficiency is achieved by suppressing current concentration in a transparent electrode and semiconductor layer directly below the electrode, and wherein excellent light extraction efficiency is achieved by suppressing losses due to absorption or multiple reflection of light produced by the electrode. Also, the light-emitting element has high external quantum efficiency. The construction of this group III nitride semiconductor light-emitting element is as follows. A semiconductor layer (20) is formed by successive deposition of an n-type semiconductor layer (4), a light-emitting layer (5) and a p-type semiconductor layer (6) on a single-crystal underlayer (3) formed on a substrate (11). A transparent electrode (7) is formed on the p-type semiconductor layer (6). An insulating layer (15) is provided on at least part of the p-type semiconductor layer (6) and the transparent electrode (7) is formed covering the insulating layer (15). A positive pole bonding pad (8) is provided in a position (A) above the insulating layer (15) that is provided on the p-type semiconductor layer (6) on the surface (7a) of the transparent electrode (7). The sheet resistance of the transparent electrode (7) is lower than the sheet resistance of the n-type semiconductor layer (4).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/100900 A1



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(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, 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))

電極直下における透光性電極及び半導体層での電流集中が抑制されて発光効率に優れるとともに、電極による光の吸収や多重反射による損失が抑制されて光取り出し効率に優れ、高い外部量子効率を有する III 族窒化物半導体発光素子が提供される。そのような III 族窒化物半導体発光素子は、基板 (11) 上に形成された単結晶の下地層 (3) 上に、n 型半導体層 (4)、発光層 (5) 及び p 型半導体層 (6) が順次積層された半導体層 (20) が形成されており、p 型半導体層 (6) 上に透光性電極 (7) が形成されてなり、p 型半導体層 (6) 上の少なくとも一部に絶縁層 (15) が備えられるとともに、透光性電極 (7) が絶縁層 (15) を覆って形成されており、透光性電極 (7) の表面 (7a) において、p 型半導体層 (6) 上に備えられた絶縁層 (15) の上方の位置 (A) に正極ボンディングパッド (8) が設けられており、透光性電極 (7) のシート抵抗が n 型半導体層 (4) のシート抵抗よりも低い構成である。

明 細 書

発明の名称：

ⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子及びその製造方法、並びにランプ

技術分野

[0001] 本発明は、発光ダイオード（LED）構造を有するⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子及びその製造方法、並びにランプに関する。

本願は、2009年3月2日に日本に出願された特願2009-048239号および2010年2月26日に日本に出願された特願2010-42485号に基づき優先権を主張し、それらの内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、短波長の光を発する発光素子用の半導体材料として、ⅢⅢⅢ族窒化物半導体が注目を集めている。ⅢⅢⅢ族窒化物半導体は、一般式 $A_1xGa_yIn_zN$ （ $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ ）で表され、サファイア単結晶をはじめ種々の酸化物やⅢⅢⅢ-V族化合物からなる基板の上に、有機金属化学気相成長法（MOCVD法）や分子線エピタキシー法（MBE法）等によって形成される。

[0003] ⅢⅢⅢ族窒化物半導体を用いた一般的な発光素子では、サファイア単結晶基板の上に、ⅢⅢⅢ族窒化物半導体からなるn型半導体層、発光層及びp型半導体層がこの順で積層される。サファイア基板は絶縁体であるので、その素子構造は一般的に、p型半導体層上に形成された正極とn型半導体層上に形成された負極とが同一面上に存在する構造となる。このようなⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子には、正極に透光性電極を使用してp型半導体側から光を取り出すフェイスアップ方式と、正極にAgなどの高反射膜を使用してサファイア基板側から光を取り出すフリップチップ方式の2種類がある。

[0004] このような発光素子の出力の指標として、外部量子効率が用いられる。この外部量子効率が高ければ、出力の高い発光素子とすることができる。外部量子効率は、内部量子効率と光取り出し効率とを掛け合わせたものとして表

される。

また、内部量子効率とは、素子に注入した電流のエネルギーが発光層で光に変換される割合である。一方、光取り出し効率とは、発光層で発生した光のうち発光素子の外部に取り出すことができる光の割合である。

従って、外部量子効率を向上させるには、発光層における発光効率の他、光取り出し効率を改善する必要がある。

[0005] 光取り出し効率を改善するためには、主として2つの方法がある。一つは、光取り出し面に形成される電極等による光の吸収を低減させる方法である。もう一つは、発光素子とその外部の媒体との屈折率の違いによって生じる発光素子の内部への光の閉じ込めを低減させる方法である。

[0006] ここで、上記組成を有する窒化ガリウム系化合物半導体素子の特性としては、横方向への電流拡散が小さいことが挙げられる。このため、電極直下の半導体にしか電流が注入されず、発光層で発光した光は電極に遮られて外部に取り出されない。そこで、このような発光素子では、通常、透光性電極が用いられ、この透光性電極を通して光が取り出される。

[0007] 従来、透光性電極には、NiやCo等の酸化物と、コンタクト金属としてAu等とを組み合わせた層構造とされたもの等、周知の導電材料が用いられている。また、近年では、ITO等、より導電性の高い透光性の酸化物を用いることにより、コンタクト金属の膜厚を極力薄くして透光性を高めた層構造のものが透光性電極として採用され、発光層からの光を効率良く外部に取り出すことができる構成とされている。

[0008] また、従来の発光素子においては、高い発光輝度を得るため、電極直下のみならず発光層（半導体層）全体が均一に発光することが求められていた。しかしながら、半導体層上に透光性電極が備えられ、この上にボンディングパッド電極が備えられてなる発光素子では、透光性電極の横方向への電流拡散が小さいことから、上記同様、ボンディングパッド電極の直下に電流集中が生じる。このため、発光層による発光作用が、上記同様、ボンディングパッド電極の直下に集中し、発光効率が低下して輝度の低いものとなってしまう。

う虞があった。

- [0009] ここで、上述のような透光性電極が備えられてなる発光素子において、ボンディングパッド電極直下への電流の集中を抑制するため、ボンディングパッド電極の直下に絶縁層を設けることが提案されている（例えば、特許文献 1、2 を参照）。特許文献 1、2 に記載の発光素子では、上記構成の絶縁層を設けることにより、透光性電極の横方向への電流拡散を効果的に促進させ、発光効率を高めることが可能とされている。しかしながら、特許文献 1、2 では、P 側のボンディングパッド電極付近において発光が強くなり、発光効率が必ずしも高められないという問題があった。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：日本国特許第 3 8 4 1 4 6 0 号公報
特許文献2：特開 2 0 0 8 - 1 9 2 7 1 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0011] 本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、p 側のボンディングパッド電極直下における透光性電極及び半導体層での電流集中が抑制されて発光効率に優れるとともに、電極による光の吸収や多重反射による損失が抑制されて光取り出し効率に優れ、高い外部量子効率を有する III 族窒化物半導体発光素子を提供することを目的とする。

また、本発明は、上述のような発光効率並びに光取り出し効率に優れた発光素子を製造することが可能な III 族窒化物半導体発光素子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、上記 III 族窒化物半導体発光素子が用いられてなり、発光特性に優れたランプ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] 本発明者は、上記問題を解決するために鋭意検討した結果、本発明を完成

した。即ち、本発明は以下に関する。

[0013] [1] 基板上に形成された単結晶のⅢⅢⅢ族窒化物半導体層上に、n型半導体層、発光層及びp型半導体層が順次積層された半導体層が形成されており、前記p型半導体層上に透光性電極が形成されてなるⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子であって、前記p型半導体層上の少なくとも一部に絶縁層が備えられるとともに、前記透光性電極が前記絶縁層を覆って形成されており、前記透光性電極の表面において、前記p型半導体層上に備えられた前記絶縁層の上方に正極ボンディングパッドが設けられており、前記透光性電極のシート抵抗が、前記n型半導体層のシート抵抗よりも低いことを特徴とするⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。

[2] 前記透光性電極のシート抵抗が $15\Omega/\square$ 以下であり、前記n型半導体層のシート抵抗が $20\Omega/\square$ 以下であることを特徴とする上記[1]に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。

[3] 前記透光性電極の表面の少なくとも一部が凹凸形状とされていることを特徴とする上記[1]又は[2]に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。

[4] 前記透光性電極が、酸化インジウム錫（ITO: Indium Tin Oxide）、酸化インジウム亜鉛（IZO: Indium Zinc Oxide）、酸化インジウムガリウム（IGO: Indium Gallium Oxide）、酸化インジウムセリウム（ICO: Indium Cerium Oxide）及び導電性酸化チタン（ TiO_2 ）からなる群から選ばれる少なくとも1種が用いられてなることを特徴とする上記[1]～[3]の何れか1項に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。

[5] 前記絶縁層が、酸化シリコン（ SiO_2 ）からなることを特徴とする上記[1]～[4]の何れか1項に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。

[0014] [6] 基板上に単結晶のⅢⅢⅢ族窒化物半導体層を形成するエピタキシャル工程と、前記ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層上にn型半導体層、発光層及びp

型半導体層を順次積層して半導体層を形成する半導体層形成工程と、前記 p 型半導体層上に透光性電極を形成する透光性電極形成工程とが備えられてなる I I I 族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、前記透光性電極形成工程は、前記 p 型半導体層上の少なくとも一部に絶縁層を形成した後、前記 p 型半導体層上に前記絶縁層を覆うように前記透光性電極を形成し、前記透光性電極形成工程の後、前記透光性電極の表面において、前記 p 型半導体層上に形成された前記絶縁層の上方に正極ボンディングパッドを形成する正極形成工程が備えられており、さらに、前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極のシート抵抗が前記 n 型半導体層のシート抵抗よりも低くなるように前記透光性電極を形成することを特徴とする I I I 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[7] 前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極を $15 \Omega/\square$ 以下のシート抵抗となるように形成し、前記半導体層形成工程は、前記 n 型半導体層を $20 \Omega/\square$ 以下のシート抵抗となるように形成することを特徴とする上記 [6] に記載の I I I 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[8] 前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極の表面の少なくとも一部に凹凸形状を形成することを特徴とする上記 [6] 又は [7] の何れか 1 項に記載の I I I 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[9] 前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極を形成する材料として酸化インジウム錫 (ITO: Indium Tin Oxide)、酸化インジウム亜鉛 (IZO: Indium Zinc Oxide)、酸化インジウムガリウム (IGO: Indium Gallium Oxide)、酸化インジウムセリウム (ICO: Indium Cerium Oxide) 及び導電性酸化チタン (TiO_2) からなる群から選ばれる少なくとも 1 種を用いることを特徴とする上記 [6] ~ [8] の何れか 1 項に記載の I I I 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[10] 前記透光性電極形成工程は、前記絶縁層を形成する材料として酸化シリコン (SiO_2) を用いることを特徴とする上記 [6] ~ [9] の何

れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[0015] [11] 上記 [1] ~ [5] の何れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体発光素子が用いられてなることを特徴とするランプ。

発明の効果

[0016] 本発明の III 族窒化物半導体発光素子によれば、基板上に形成された単結晶の III 族窒化物半導体層上に、n 型半導体層、発光層及び p 型半導体層が順次積層された半導体層が形成され、p 型半導体層上に透光性電極が形成されてなり、さらに、p 型半導体層上の少なくとも一部に絶縁層が備えられるとともに透光性電極が絶縁層を覆って形成され、透光性電極の表面において、p 型半導体層上に備えられた絶縁層の上方に正極ボンディングパッドが設けられているので、透光性電極及び半導体層における正極ボンディングパッドに対応する位置での電流集中が抑制でき、素子全体がより均一に発光することにより、発光効率が向上する。またさらに、透光性電極のシート抵抗が n 型半導体層のシート抵抗よりも低い構成とされているので、透光性電極上に設けられる正極ボンディングパッドによる光の吸収や多重反射による損失が抑制でき、光取り出し効率が向上する。従って、発光効率及び光取り出し効率に優れ、高い外部量子効率を備えた III 族窒化物半導体発光素子を提供することが可能となる。

[0017] また、本発明の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法によれば、基板上に単結晶の III 族窒化物半導体層を形成するエピタキシャル工程と、III 族窒化物半導体層上に n 型半導体層、発光層及び p 型半導体層を順次積層して半導体層を形成する半導体層形成工程と、p 型半導体層上に透光性電極を形成する透光性電極形成工程とが備えられ、透光性電極形成工程は、p 型半導体層上の少なくとも一部に絶縁層を形成した後、p 型半導体層上に絶縁層を覆うように透光性電極を形成し、透光性電極形成工程の後、透光性電極の表面において、p 型半導体層上に形成された絶縁層の上方に正極ボンディングパッドを形成する正極形成工程が備えられており、さらに、透光性電極形成工程は、透光性電極のシート抵抗が n 型半導体層のシート抵抗よりも低

くなるように透光性電極を形成する方法なので、上述したような、発光効率及び光取り出し効率に優れ、高い外部量子効率を備えたⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子を製造することができる。

[0018] さらに、本発明に係るランプは、本発明のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子が用いられてなるものであるので、発光特性に優れたものとなる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の一例を模式的に説明する図であり、基板の主面上にバッファ層とⅢⅢⅢ族窒化物半導体からなる下地層とが形成され、その上に半導体層が形成されるとともに、この半導体層上に絶縁層及び透光性電極が形成された積層構造を示す断面図である。

[図2]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の一例を模式的に説明する図であり、図1に示すⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の平面図である。

[図3]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の他の例を模式的に説明する図であり、基板の主面上に、バッファ層と単結晶のⅢⅢⅢ族窒化物半導体からなる下地層とが形成された積層構造を示す断面図である。

[図4]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の他の例を模式的に説明する図であり、図3の要部を示す斜視図である。

[図5]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の一例を模式的に説明する図であり、順方向電流（ I ）と発光出力（ P_o ）との関係を示すグラフである。

[図6]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の一例を模式的に説明する図であり、透光性電極とn型半導体層のシート抵抗の高低の関係と、順方向電流（ I ）と発光出力（ P_o ）との関係との間の相関を示すグラフである。

[図7]本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子を用いて構成したランプの一例を模式的に説明する概略図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明に係るⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子（以下、発光素子と略称することがある）及びその製造方法、並びにランプの一実施形態について

、図１～図７を適宜参照しながら説明する。

[0021] [I I I 族窒化物半導体発光素子（発光素子）]

本発明に係る発光素子１は、図１及び図２に示す一例のように、基板１１の主面１１ａ上に形成された単結晶の下地層（ I I I 族窒化物半導体層）３上に、 n 型半導体層４、発光層５及び p 型半導体層６が順次積層された半導体層２０が形成され、 p 型半導体層６上に透光性電極７が形成されてなり、 p 型半導体層６上の少なくとも一部に絶縁層１５が備えられるとともに、透光性電極７が絶縁層１５を覆って形成され、概略構成されている。また、図１及び図２に示す例の発光素子１は、透光性電極７のシート抵抗が n 型半導体層４のシート抵抗よりも低い構成とされたものである。また、図示例においては、基板１１と下地層３との間にバッファ層２が設けられているとともに、透光性電極７上に正極ボンディングパッド８が備えられ、半導体層２０の一部が除去されて露出した n 型半導体層４に負極ボンディングパッド９が備えられている。また、図示例の発光素子１は、その平面形状が、正極ボンディングパッド８と負極ボンディングパッド９とが離間する方向、即ち、図２中におけるチップ長さ寸法（ L ）がチップ幅寸法（ W ）よりも長尺とされ、略長方形形状として構成されている。また、本発明においては、図２中に示す平面形状において、チップ幅寸法 W ：チップ長さ寸法 L を、 1 : 1（ $L/W=1$ ）～ 1 : 2.7（ $L/W=2.7$ ）の範囲として、正方形形状チップ又は長方形形状チップとして構成することができる。

本実施形態で説明する例の発光素子１は、上記構成により、図示例のような発光ダイオード（ LED ）として構成される。

以下、発光素子１の積層構造について詳しく説明する。

[0022] 『基板』（基板の材料）

本実施形態の発光素子において、上述したような基板１１に用いることができる材料としては、 I I I 族窒化物半導体結晶が表面にエピタキシャル成長される基板材料であれば特に限定されず、各種材料を選択して用いることができる。例えば、サファイア、 SiC、シリコン、酸化亜鉛、酸化マグネ

シウム、酸化マンガン、酸化ジルコニウム、酸化マンガン亜鉛鉄、酸化マグネシウムアルミニウム、ホウ化ジルコニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、酸化リチウムガリウム、酸化リチウムアルミニウム、酸化ネオジウムガリウム、酸化ランタンストロンチウムアルミニウムタンタル、酸化ストロンチウムチタン、酸化チタン、ハフニウム、タングステン、モリブデン等が挙げられる。また、上記各基板材料の中でも、特に、サファイアを用いることが好ましく、また、サファイアからなる基板 11 の c 面からなる主面 11 a 上に、詳細を後述するバッファ層 2 が形成されていることが望ましい。

[0023] なお、上記各基板材料の内、高温でアンモニアに接触することで化学的な変性を引き起こすことが知られている酸化物基板や金属基板等を用い、アンモニアを使用せずにバッファ層 2 を成膜するとともに、アンモニアを使用する方法で下地層 3 を成膜した場合には、バッファ層 2 がコート層としても作用するので、基板 11 の化学的な変質を防ぐ点で効果的である。

また、バッファ層 2 をスパッタ法により形成した場合、基板 11 の温度を低く抑えることが可能なので、高温で分解してしまう性質を持つ材料からなる基板 11 を用いた場合でも、基板 11 にダメージを与えることなく基板上への各層の成膜が可能である。

[0024] 『バッファ層』

本発明では、基板 11 の主面 11 a 上にバッファ層 2 を形成し、その上に下地層 3 を形成することが好ましい。バッファ層 2 は、例えば、 $A_{1-x}Ga_xN$ ($0 \leq x \leq 1$) なる組成で基板 11 上に積層され、例えば、V 族元素を含むガスと金属材料とをプラズマで活性化して反応させる反応性スパッタ法によって形成することができる。本実施形態のような、プラズマ化した金属原料を用いた方法で成膜された膜は、配向が得られ易いという作用がある。

[0025] バッファ層 2 は、基板 11 と下地層 3 との格子定数の違いを緩和し、基板 11 の C 面上に C 軸配向した単結晶層の形成を容易にする働きがある。従って、バッファ層 2 の上に単結晶の III 族窒化物半導体層（下地層 3）を積層すると、より結晶性に優れた下地層 3 が形成できる。なお、本実施形態で

は、バッファ層2を省略した構成とすることも可能である。

[0026] 本実施形態では、バッファ層2が、上記 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) なる組成からなることが好ましく、 AlN であることがより好ましい。一般に、基板上に積層させるバッファ層としては、 Al を含有する組成とされていることが好ましく、一般式 $A_{1-x}Ga_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) で表される III 族窒化物化合物であれば、如何なる材料でも用いることができ、さらに、 V 族として As や P が含有される組成とすることもできる。なかでも、バッファ層2を、 Al を含んだ組成とした場合、 $GaAlN$ とすることが好ましく、この場合には、 Al の組成が50%以上とされていることがより好ましい。また、バッファ層2は、 AlN からなる構成とすることが最も好ましい。また、バッファ層2を構成する材料としては、 III 族窒化物半導体と同じ結晶構造を有するものを用いることができるが、格子の長さが後述の下地層を構成する III 族窒化物半導体に近いものが好ましく、特に周期表の $IIIa$ 族元素の窒化物が好適である。

[0027] バッファ層2をなす III 族窒化物の結晶は、六方晶系の結晶構造を持ち、成膜条件をコントロールすることにより、単結晶膜とすることができる。また、 III 族窒化物の結晶は、上記成膜条件をコントロールすることにより、六角柱を基本とした集合組織からなる柱状結晶（多結晶）とすることも可能である。なお、ここで説明する柱状結晶とは、隣接する結晶粒との間に結晶粒界を形成して隔てられており、それ自体は縦断面形状として柱状になっている結晶のことをいう。

[0028] バッファ層2は、単結晶構造であることが、バッファ機能の面から好ましい。上述したように、 III 族窒化物の結晶は六方晶系の結晶を有し、六角柱を基本とした組織を形成する。 III 族窒化物の結晶は、成膜条件等を制御することにより、上方向だけではなく、面内方向にも成長した結晶を成膜することが可能となる。このような単結晶構造を有するバッファ層2を基板11上に成膜した場合、バッファ層2のバッファ機能が有効に作用するため、その上に成膜される III 族窒化物半導体の層は、良好な配向性及び結晶

性を持つ結晶膜となる。

[0029] バッファ層2の膜厚は、 $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲とされていることが好ましい。バッファ層2の膜厚をこの範囲とすることにより、良好な配向性を有し、バッファ層2上にIII族窒化物半導体からなる各層を成膜する際に、コート層として有効に機能するバッファ層2が得られる。バッファ層2の膜厚が $0.01 \mu\text{m}$ 未満だと、上述したコート層としての十分な機能が得られず、また、基板11と下地層3との間の格子定数の違いを緩和するバッファ作用が十分に得られない場合がある。また、 $0.5 \mu\text{m}$ を超える膜厚でバッファ層2を形成した場合、バッファ作用やコート層としての機能には変化が無いのにも関わらず成膜処理時間が長くなり、生産性が低下する虞がある。また、バッファ層2の膜厚は、 $0.02 \sim 0.1 \mu\text{m}$ の範囲とされていることがより好ましい。

[0030] 『III族窒化物半導体層（下地層）』

本発明の発光素子1に備えられる下地層（III族窒化物半導体層）3は、上述したようにIII族窒化物半導体からなり、従来公知のMOCVD法によってバッファ層2上に積層して成膜することができる。

[0031] 下地層3の材料としては、例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$)を用いることができるが、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層 ($0 \leq y \leq 1$ 、好ましくは $0 \leq y \leq 0.5$ 、さらに好ましくは $0 \leq y \leq 0.1$)を用いることが、結晶性の良好な下地層3を形成できる点でより好ましい。また、下地層3の材料は、上述のように、バッファ層2と異なる材料を用いても良いが、バッファ層2と同じ材料を用いることも可能である。

[0032] また、下地層3は、必要に応じて、 n 型不純物が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19}$ 個/ cm^3 の範囲内でドーパされた構成としても良いが、アンドープ ($< 1 \times 10^{17}$ 個/ cm^3)の構成とすることもでき、アンドープの方が良好な結晶性を維持できる点で好ましい。

基板11が導電性である場合には、下地層3にドーパントをドーピングして導

電性とすることにより、発光素子の上下に電極を形成することができる。一方、基板 11 に絶縁性の材料を用いる場合には、発光素子の同じ面に正極及び負極の各電極が設けられたチップ構造をとることになるので、下地層 3 はドーピングしない結晶とした方が、結晶性が良好となるので好ましい。下地層 3 にドーピングされる n 型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、Ge および Sn 等が挙げられ、好ましくは Si および Ge が挙げられる。

[0033] 下地層 3 の厚さは、 $1 \sim 8 \mu\text{m}$ の範囲とすることが、結晶性の良好な下地層が得られる点で好ましく、 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲とすることが、成膜に要する工程時間を短縮でき、生産性が向上する点でより好ましい。

[0034] 『半導体層』

下地層 3 上に形成される半導体層 20 は、III-V 族窒化物半導体から各々なる n 型半導体層 4、発光層 5 及び p 型半導体層とからなる。このような半導体層 20 の各層は、MOCVD 法で形成することにより、より結晶性の高いものが得られる。

[0035] 「n 型半導体層」

n 型半導体層 4 は、通常、n 型コンタクト層 4a と n 型クラッド層 4b とから構成される。また、n 型コンタクト層 4a は n 型クラッド層 4b を兼ねることも可能である。

[0036] n 型コンタクト層 4a は、負極を設けるための層である。n 型コンタクト層 4a としては、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 \leq x < 1$ 、好ましくは $0 \leq x \leq 0.5$ 、さらに好ましくは $0 \leq x \leq 0.1$) から構成されることが好ましい。また、n 型コンタクト層 4a には n 型不純物がドーピングされていることが好ましく、n 型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有すると、負極との良好なオーミック接触の維持の点で好ましい。n 型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、Ge および Sn 等が挙げられ、好ましくは Si および Ge が挙げられる。

[0037] n 型コンタクト層 4a の膜厚は、 $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ とされることが好ましく

、 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲に設定することがより好ましい。n型コンタクト層4aの膜厚が上記範囲にあると、半導体の結晶性が良好に維持される。

[0038] n型コンタクト層4aと発光層5との間には、n型クラッド層4bを設けることが好ましい。n型クラッド層4bは、発光層5へのキャリアの注入とキャリアの閉じ込めを行なう層である。n型クラッド層4bはAlGa_{0.5}N、Ga_{0.5}N、GaInNなどで形成することが可能である。また、これらの構造のヘテロ接合や複数回積層した超格子構造としてもよい。n型クラッド層4bをGaInNで形成する場合には、発光層5のGaInNのバンドギャップよりも大きくすることが望ましいことは言うまでもない。

[0039] n型クラッド層4bの膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $0.005 \sim 0.5 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $0.005 \sim 0.1 \mu\text{m}$ である。n型クラッド層4bのn型ドーパ濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ が好ましく、より好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。ドーパ濃度がこの範囲であると、良好な結晶性の維持および素子の動作電圧低減の点で好ましい。

[0040] 本発明に係る発光素子1では、詳細を後述するように、n型半導体層4のシート抵抗 $R_s 2$ よりも、透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ が低い構成とされている。また、本発明においては、透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ が $15 \Omega / \square$ 以下であり、n型半導体層4のシート抵抗 $R_s 2$ が $20 \Omega / \square$ 以下であることがより好ましい。このように、透光性電極7やn型半導体層4のシート抵抗を制御する手段としては、例えば、膜厚を適宜調整する方法がある。n型半導体層4のシート抵抗を上記とする場合には、n型半導体層4全体の膜厚を $4 \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、 $3 \mu\text{m}$ 以下とすることがより好ましい。

また、n型半導体層4のシート抵抗 $R_s 2$ を制御する方法としては、Si等のn型不純物のドーパ量を制御する方法でも行なうことができ、このドーパ量を上記範囲とすることにより、所望の範囲にシート抵抗 $R_s 2$ を制御することが可能となる。

- [0041] なお、 n 型クラッド層4bを超格子構造を含む層とする場合には、詳細な図示を省略するが、100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物半導体からなる n 側第1層と、該 n 側第1層と組成が異なるとともに100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物半導体からなる n 側第2層とが積層された構造を含むものであっても良い。また、 n 型クラッド層4bは、 n 側第1層と n 側第2層とが交互に繰返し積層された構造を含んだものであってもよい。また、好ましくは、前記 n 側第1層又は n 側第2層の何れかが、発光層5)に接する構成とすれば良い。
- [0042] 上述のような n 側第1層及び n 側第2層は、例えばAlを含むAlGa N 系（単にAlGa N と記載することがある）、Inを含むGaIn N 系（単にGaIn N と記載することがある）、Ga N の組成とすることができる。また、 n 側第1層及び n 側第2層は、GaIn N /Ga N の交互構造、AlGa N /Ga N の交互構造、GaIn N /AlGa N の交互構造、組成の異なるGaIn N /GaIn N の交互構造（本発明における“組成の異なる”との説明は、各元素組成比が異なることを指し、以下同様である）、組成の異なるAlGa N /AlGa N の交互構造であってもよい。本発明においては、 n 側第1層及び n 側第2層は、GaIn N /Ga N の交互構造又は組成の異なるGaIn N /GaIn N であることが好ましい。
- [0043] 上記 n 側第1層及び n 側第2層の超格子層は、それぞれ60オングストローム以下であることが好ましく、それぞれ40オングストローム以下であることがより好ましく、それぞれ10オングストローム～40オングストロームの範囲であることが最も好ましい。超格子層を形成する n 側第1層と n 側第2層の膜厚が100オングストローム超だと、結晶欠陥が入りやすく好ましくない。
- [0044] 上記 n 側第1層及び n 側第2層は、それぞれドーピングした構造であってもよく、また、ドーピング構造/未ドーピング構造の組み合わせであってもよい。ドーピングされる不純物としては、上記材料組成に対して従来公知のものを、何ら制限無く適用できる。例えば、 n 型クラッド層として、GaIn N /Ga N の交

互構造又は組成の異なる $\text{GaInN}/\text{GaInN}$ の交互構造のものをを用いた場合には、不純物として Si が好適である。また、上述のような n 側超格子多層膜は、 GaInN や AlGaInN 、 GaInN で代表される組成が同じであっても、ドーピングを適宜 ON 、 OFF しながら作製してもよい。

上述のように、 n 型クラッド層 4 b を、超格子構造を含む層構成とすることで、発光出力が格段に向上し、電気特性に優れた発光素子 1 とすることが可能となる。

[0045] 「発光層」

n 型半導体層の上に積層される発光層としては、単一量子井戸構造あるいは多重量子井戸構造等の構造を有する発光層 5 が挙げられる。図 1 に示すような量子井戸構造の井戸層としては、青色発光を呈する構成とする場合には、通常、 $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ ($0 < y < 0.4$) なる組成の III 族窒化物半導体を用いられるが、本発明のような緑色発光を呈する井戸層 5 b の場合には、 $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ ($0.07 < y < 0.20$) 等、インジウムの組成が高められたものが用いられる。

[0046] 本発明のような多重量子井戸構造の発光層 5 の場合は、上記 $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ を井戸層 5 b とし、井戸層 5 b よりバンドギャップエネルギーが大きい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 0.3$) を障壁層 5 a とすることが好ましい。また、井戸層 5 b 及び障壁層 5 a には、不純物をドーピングしても良いし、あるいは、しなくてもよい。

[0047] また、井戸層 5 b の膜厚としては、量子効果の得られる程度の膜厚、例えば $1 \sim 10 \text{ nm}$ とすることができ、より好ましくは $2 \sim 6 \text{ nm}$ とすると発光出力の点で好ましい。

[0048] 「 p 型半導体層」

p 型半導体層 6 は、通常、 p 型クラッド層 6 a および p 型コンタクト層 6 b から構成される。また、 p 型コンタクト層 6 b が p 型クラッド層 6 a を兼ねることも可能である。

[0049] p 型クラッド層 6 a は、発光層 5 へのキャリアの閉じ込めとキャリアの注

入を行なう層である。p型クラッド層6aの組成としては、発光層5のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成で、発光層5へのキャリアの閉じ込めができるものであれば特に限定されないが、好ましくは、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 0.4$)のものが挙げられる。p型クラッド層6aが、このような AlGaInN からなると、発光層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。p型クラッド層6aの膜厚は、特に限定されないが、好ましくは1~400nmであり、より好ましくは5~100nmである。p型クラッド層6aのp型ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ が好ましく、より好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。p型ドーピング濃度が上記範囲であると、結晶性を低下させることなく良好なp型結晶が得られる。

また、p型クラッド層6aは、複数回積層した超格子構造としてもよい。

[0050] なお、p型クラッド層6aを超格子構造を含む層とする場合には、詳細な図示を省略するが、100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物半導体からなるp側第1層と、該p側第1層と組成が異なるとともに100オングストローム以下の膜厚を有したIII族窒化物半導体からなるp側第2層とが積層された構造を含むものであっても良い。また、p側第1層とp側第2層とが交互に繰返し積層された構造を含んだものであっても良い。

[0051] 上述のようなp側第1層及びp側第2層は、それぞれ異なる組成、例えば、 AlGaInN 、 GaInN 又は GaN の内の何れの組成であっても良い、また、 $\text{GaInN} / \text{GaN}$ の交互構造、 $\text{AlGaInN} / \text{GaN}$ の交互構造、又は $\text{GaInN} / \text{AlGaInN}$ の交互構造であっても良い。本発明においては、p側第1層及びp側第2層は、 $\text{AlGaInN} / \text{AlGaInN}$ 又は $\text{AlGaInN} / \text{GaN}$ の交互構造であることが好ましい。

[0052] 上記p側第1層及びp側第2層の超格子層は、それぞれ60オングストローム以下であることが好ましく、それぞれ40オングストローム以下であることがより好ましく、それぞれ10オングストローム~40オングストロームの範囲であることが最も好ましい。超格子層を形成するp側第1層とp側

第2層の膜厚が100オングストローム超だと、結晶欠陥等を多く含む層となり、好ましくない。

[0053] 上記p側第1層及びp側第2層は、それぞれドーピングした構造であっても良く、また、ドーピング構造／未ドーピング構造の組み合わせであっても良い。ドーピングされる不純物としては、上記材料組成に対して従来公知のものを、何ら制限無く適用できる。例えば、p型クラッド層として、AlGaInN/GaNの交互構造又は組成の異なるAlGaInN/AlGaInNの交互構造のものをを用いた場合には、不純物としてMgが好適である。また、上述のようなp側超格子多層膜は、GaInNやAlGaInN、GaNで代表される組成が同じであっても、ドーピングを適宜ON、OFFしながら作製してもよい。

上述のように、p型クラッド層6aを、超格子構造を含む層構成とすることで、発光出力が格段に向上し、電気特性に優れた発光素子1とすることが可能となる。

[0054] p型コンタクト層6bは、正極を設けるための層である。p型コンタクト層6bは、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 0.4$) が好ましい。Al組成が上記範囲であると、良好な結晶性の維持およびpオーミック電極との良好なオーミック接触の点で好ましい。p型不純物（ドーパント）を $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の濃度、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有していると、良好なオーミック接触の維持、クラック発生の防止、良好な結晶性の維持の点で好ましい。p型不純物としては、特に限定されないが、例えば好ましくはMgが挙げられる。p型コンタクト層6bの膜厚は、特に限定されないが、 $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$ が好ましく、より好ましくは $0.05 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である。p型コンタクト層6bの膜厚がこの範囲であると、発光出力の点で好ましい。

[0055] 『絶縁層』

本発明の発光素子においては、p型半導体層6上の少なくとも一部、図1及び図2に示す例の発光素子1では略中央付近に、絶縁材料からなる絶縁層15が備えられている。また、図示例では、絶縁層15が透光性電極7に覆

われるように形成されている。

絶縁層 15 の材料としては特に限定されず、従来公知の絶縁性酸化膜等を何ら制限無く用いることができるが、中でも酸化シリコン (SiO_2) を用いることが好ましい。

[0056] 従来、絶縁材料からなる絶縁層 15 が直下に備えられていない構成とされた、透光性電極 7 をなす導電性の薄膜は、縦方向（半導体層方向）への電流拡散よりも、横方向（膜内方向）への電流拡散が小さいことから、この上に形成されるボンディングパッド電極（正極ボンディングパッド 8）の直下に電流集中が生じ易い。このため、発光層 5 において発光作用が得られる領域がボンディングパッド電極の直下のみとなり、発光素子から取り出される光の発光効率が低下して所望の輝度が得られないという問題があった。

[0057] 本発明では、図 1 及び図 2 に示すように、p 型半導体層 6 上に、透光性電極 7 に覆われた上記構成の絶縁層 15 を備えることにより、透光性電極 7 の膜内における電流拡散が促進される。つまり、透光性電極 8 及び半導体層 20 において、主として、絶縁層 15 及び、正極ボンディングパッド 8 に対応する位置の周辺部に電流が拡散される。これにより、発光層 5 における絶縁層 15 の直下の位置では発光作用が抑制され、その周辺部や、負極ボンディングパッド 9 の周辺部において良好な発光作用が得られるので、発光素子から取り出される光の発光効率が向上する。従って、内部量子効率に優れ、発光輝度が高められた発光素子 1 が実現できる。

[0058] ボンディングパッド電極（正極ボンディングパッド 8）の直下に絶縁層 15 を設けることにより、絶縁層 15 及び正極ボンディングパッド 8 に対応する位置での電流集中を抑制し、その周辺部に電流を拡散することで得られる効果について、図 5 のグラフを用いて説明する。図 5 は、発光素子の順方向電流 (I) と発光出力 (P_o) との関係を示すグラフであり、グラフ中、曲線 (a)、(b)、(c) は、絶縁層が設けられた本発明に係る発光素子の特性を示すものである。また、図 5 のグラフ中、曲線 (d)、(e) は、絶縁層を備えていない発光素子の特性を示すものである。

[0059] 図5のグラフに示すように、絶縁層を設けて該絶縁層及び正極ボンディングパッドの周辺部に電流を拡散させた、本発明に係る発光素子は、絶縁層が設けられていない発光素子に比べ、順方向電流（I）が同じ場合でも高い発光出力が得られることが明らかである。これは、p型半導体層6の上に絶縁層15が設けられることで、透光性電極7及び半導体層20において、絶縁層15及び正極ボンディングパッド8に対応する位置Aの周辺部に電流が拡散され、この周辺部や、n型半導体層4に設けられる負極ボンディングパッド9の周辺部にわたって効果的に発光するためと考えられる。

[0060] なお、絶縁層15の厚さとしては、50～500nmの範囲であることが好ましく、100～300nmの範囲であることがより好ましい。絶縁層15の厚さが上記範囲であれば、上述したような電流集中を抑制する作用が、より効果的に得られる。

[0061] また、絶縁層15の平面視形状は、特に限定されるものではなく、例えば、略円形状や略四角形状等、適宜選択して採用することができるが、電流を効果的に拡散できる形状としては、略円形状等が挙げられる。このように、絶縁層15を平面視略円形状に形成した場合には、その直径を、正極ボンディングパッド8の直径よりも30μm以下の範囲内で大きく形成することが好ましく、また、10μm以下の範囲内で大きく形成することがより好ましい。

[0062] 『透光性電極』

透光性電極7は、導電性を備えた酸化膜等からなる透光性の電極であり、この技術分野で通常用いられる透光性材料を何ら制限無く用いることができる。このような材料としては、例えば、ITO（ $\text{In}_2\text{O}_3-\text{SnO}_2$ ）、AZO（ $\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ ）、IZO（ $\text{In}_2\text{O}_3-\text{ZnO}$ ：酸化インジウム亜鉛；Indium Zinc Oxide）、GZO（ $\text{ZnO}-\text{Ga}_2\text{O}_3$ ）、IGO（ $\text{In}_2\text{O}_3-\text{Ga}_2\text{O}_3$ ）、ICO（ $\text{In}_2\text{O}_3-\text{Ce}_2\text{O}_3$ ）、任意の不純物元素がドーピングされた酸化チタン（ TiO_2 ）等を含む材料が挙げられる。また、これらの材料の内、酸化チタンには、 TiO_2 を一部還元した還元型T

$i\text{O}_{2-x}$ を用いてもよく、導電性ののであれば良い。また、酸化チタンにドーピングする材料としては、例えば、Nb等が挙げられる。

また、本発明においては、ITO、IZO、IGO、ICO及び導電性酸化チタンの内の、少なくとも何れか1種を用いることがより好ましい。

[0063] また、透光性電極7を形成する方法としても、特に限定されず、この技術分野でよく知られた慣用の手段で設けることができる。また、透光性電極7の構造も、従来公知の構造を含めて如何なる構造のものも何ら制限なく用いることができる。また、透光性電極7は、絶縁層15の全面を覆うとともに、p型半導体層6上のほぼ全面を覆うように形成しても構わないし、隙間を開けて格子状や樹形状に形成することも可能である。また、透光性電極9を形成した後に、合金化や透明化を目的とした熱アニールを施しても良いし、あるいは施さなくても構わない。

[0064] 本発明の発光素子においては、透光性電極7のシート抵抗(R_s1)が、半導体層20に備えられるn型半導体層4のシート抵抗(R_s2)よりも低い構成とされている。本発明者等は、透光性電極7とn型半導体層4の各シート抵抗 R_s1 、 R_s2 の関係を、次式($R_s1 < R_s2$)で表される関係に制御し、半導体層20における正極ボンディングパッド8に対応する位置での発光を抑制することで、正極ボンディングパッド8による光の吸収や多重反射による損失を抑制できることを見出した。これにより、光取り出し効率が向上し、外部量子効率に優れ、高い発光出力を備える発光素子1が得られる。

[0065] 透光性電極7のシート抵抗 R_s1 とn型半導体層4のシート抵抗 R_s2 の関係を、次式($R_s1 < R_s2$)で表される関係とすることで得られる効果について、図6に示すグラフを参照しながら以下に説明する。図6は、透光性電極とn型半導体層のシート抵抗の高低の関係と、順方向電流(I)と発光出力(P_o)との関係との間の相関を示すグラフである。図6のグラフ中、曲線(a)はシート抵抗の関係が $R_s1 < R_s2$ である場合、曲線(b)は $R_s1 \approx R_s2$ でほぼ均一な場合、曲線(c)は $R_s1 > R_s2$ である場合

を示す。

図6のグラフに示すように、シート抵抗の関係が $R_s 1 < R_s 2$ である場合は、 $R_s 1 \approx R_s 2$ でほぼ均一な場合や $R_s 1 > R_s 2$ である場合に比べ、同じ順方向電流（ I ）であっても高い発光出力（ P_o ）が得られることがわかる。これは、各シート抵抗の関係が $R_s 1 < R_s 2$ である場合、主として、正極ボンディングパッド8の周辺部の他、 n 側である負極ボンディングパッド9に近い位置の半導体層20が発光することで、正極ボンディングパッド8による損失が抑制できるためと考えられる。

[0066] 従来の発光素子においては、一般に、 n 型半導体層4及び p 側の透光性電極7のシート抵抗を同程度とすることで、透光性電極7及び半導体層20に均一に電流を拡散させることが好ましいとされていた。しかしながら、このような構成では、上述したような発光効率並びに光取り出し効率の低下を招くという問題があった。

本発明に係る発光素子1では、上述のように、 p 側である透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ を n 型半導体層4のシート抵抗 $R_s 2$ よりも低くすることにより、正極ボンディングパッド8に対応する位置での発光を抑制している。これにより、正極ボンディングパッド8による光の吸収や多重反射による損失を抑制でき、光り取り出し効率が高く、優れた発光強度を備える発光素子1が実現できる。

[0067] なお、透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ は、 $15 \Omega/\square$ 以下であることが好ましい。上述したように、透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ を n 型半導体層4のシート抵抗 $R_s 2$ よりも低くし、さらに好ましくは、 n 型半導体層4のシート抵抗 $R_s 2$ を $20 \Omega/\square$ 以下としたうえで、透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ を $15 \Omega/\square$ 以下とすることにより、光取り出し効率の向上効果が安定して得られる。

[0068] また、透光性電極7のシート抵抗 $R_s 1$ を制御する方法としては、特に限定されないが、例えば、膜厚を厚くするか、あるいは、アニール処理を施すことでシート抵抗 $R_s 1$ を下げるのが可能である。

[0069] 透光性電極 7 の厚さとしては、100 nm 以上であることが好ましい。透光性電極 7 の厚さを上記とすることで、シート抵抗 R_s 1 を $15 \Omega/\square$ 以下に制御することが可能となる。また、透光性電極 7 の最大厚さとしては、生産性を考慮し、600 nm 以下とすることが好ましい。

[0070] なお、本発明に係る発光素子 1 においては、透光性電極 7 の表面に凹凸が形成された構成とすることがより好ましい。これにより、透光性電極 7 からの光取り出し効率が向上するとともに、凹凸の形状や寸法を適性化することで、透光性電極 7 のシート抵抗 R_s 1 を制御することも可能となる。

[0071] 『ボンディングパッド（電極）』

本発明に係る発光素子 1 においては、透光性電極 7 上に正極ボンディングパッド 8 が設けられ、n 型半導体層 4 に備えられる n 型コンタクト層に接するように負極ボンディングパッド 9 が設けられている。

[0072] 「正極ボンディングパッド」

正極ボンディングパッド 8 は、図 1 及び図 2 に示すように、p 型半導体層 6 及び絶縁層 15 と接する透光性導電酸化膜層からなる透光性電極 7 上の一部に設けられている。また、図示例の正極ボンディングパッド 8 は、透光性電極 7 の表面 7a において、絶縁層 15 に対応する位置 A に設けられている。

[0073] 正極ボンディングパッド 8 は、回路基板やリードフレーム等との電気接続のために設けられる。正極ボンディングパッドとしては、Au、Al、Ni および Cu 等を用いた各種構造が周知であり、これら周知の材料、構造を何ら制限無く用いることができる。

[0074] 正極ボンディングパッド 8 の厚さは、100～1500 nm の範囲内であることが好ましい。また、ボンディングパッドの特性上、厚さが大きい方が、ボンダビリティが高くなるため、正極ボンディングパッド 8 の厚さは 300 nm 以上とすることがより好ましい。

[0075] 本実施形態で説明する発光素子 1 においては、上述のように、正極ボンディングパッド 8 が、透光性電極 7 の表面 7a において絶縁層 15 に対応する

位置Aに設けられていることが好ましい。このような構成により、上述したような電流集中を抑制する効果や、正極ボンディングパッド8での光の吸収や多重反射による損失を抑制できる効果が安定して得られる。また、正極ボンディングパッド8の直下における電流集中を抑制することにより、特に、発光素子を高電流で駆動した場合の発光出力（ P_o ）が向上するという効果が得られる。

[0076] なお、本実施形態では、例えば、透光性電極7の表面7aにおいて絶縁層15に対応する位置Aに図示略の貫通孔を設け、正極ボンディングパッド8が貫通孔を介して絶縁層15と接して設けられた構成とすることも可能である。このような構成とすることにより、正極ボンディングパッド8の接合強度が向上するという効果が得られる。

[0077] 「負極ボンディングパッド」

負極ボンディングパッド9は、半導体層20のn型半導体層4に接するように形成される。このため、負極ボンディングパッド9を形成する際には、発光層5およびp型半導体層6の一部を除去してn型半導体層4のn型コンタクト層を露出させ、この上に負極ボンディングパッド9を形成する。

[0078] 負極ボンディングパッド9としては、各種組成や構造が周知であり、これら周知の組成や構造を何ら制限無く用いることができ、この技術分野でよく知られた慣用の手段で設けることができる。

[0079] なお、上述した正極ボンディングパッド8並びに負極ボンディングパッド9の、発光素子1上における形成位置や電極中心間距離は、特に限定されない。しかしながら、より優れた発光効率並びに光取り出し効率を得るためには、各ボンディングパッドの形成位置や電極中心間距離を適宜調整することが好ましい。例えば、図1及び図2に示す例のような平面視略長方形の発光素子1を構成する場合には、まず、発光素子1の長手方向の一端側近傍に負極ボンディングパッド9を配置し、発光素子1の略中央付近もしくは長手方向の他端側近傍に正極ボンディングパッド8を配置した構成とすることが、上述したような高い発光効率及び光取り出し効率を得られ易くなる点から好

ましい。

[0080] 本発明では、上述したように、透光性電極 7 のシート抵抗 ($R_s 1$) が、半導体層 20 に備えられる n 型半導体層 4 のシート抵抗 ($R_s 2$) よりも低い構成とされている。これにより、負極ボンディングパッド 9 から、n 型半導体層 4 を介して発光層 5 及び p 型半導体層 6 を流通し、透光性電極 7 に電流が流れる際の電流集中が抑制されるので、発光効率に優れた発光素子 1 が得られる。

[0081] 『発光素子の平面視におけるチップサイズ』

本発明においては、発光素子 1 の平面視におけるチップサイズ、即ち、正極ボンディングパッド 8 と負極ボンディングパッド 9 とが離間する方向の電極離間方向寸法 (チップ長さ寸法) L 、及び、この電極離間方向に直交する方向でのチップ幅寸法 W については、特に限定されない。例えば、電極離間方向寸法 L 及びチップ幅寸法 W を、平面視におけるチップ形状が正形状となる寸法比としても良いし、あるいは、長形状となる寸法比としても良く、何れの場合であっても、本発明による発光効率の向上効果が得られる。

しかしながら、上記構成によって得られる発光効率向上の効果をさらに顕著なものとするためには、図 2 に示す例のように、その平面視形状を、電極離間方向寸法 L をチップ幅寸法 W よりも長くし、略長形状とすることがより好ましい。

[0082] 本発明に係る発光素子 1 のように、上記構成の絶縁層 15 を備え、透光性電極 7 のシート抵抗 $R_s 1$ が、n 型半導体層 4 のシート抵抗 $R_s 2$ よりも低い構成とされた発光素子の場合、その駆動電流 (順方向電流) I_F を、好ましくは 5 ~ 30 mA 程度の範囲として使用する。このような条件で駆動される発光素子は、例えば、携帯電話やノートブック型パーソナルコンピュータのバックライト用途等に用いられる。このように、発光素子 1 は、比較的小さな電流で駆動されるものであり、上記したバックライト用途等において好適なものである。

発光素子 1 を上記条件で駆動する場合の、より好ましいチップサイズについ

て、以下に詳述する。

- [0083] 本実施形態の発光素子 1 は、その平面視における電極離間方向寸法 L を $400\ \mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $400\sim550\ \mu\text{m}$ の範囲とし、チップ幅寸法 W を $180\ \mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $180\sim260\ \mu\text{m}$ の範囲とすることにより、平面視略長形状に構成することができる。この場合、例えば、平面視におけるチップサイズ ($W\times L$) を、 $260\times550\ \mu\text{m}$ や $240\times400\ \mu\text{m}$ 、 $180\times400\ \mu\text{m}$ 等の組み合わせとすることができる。
- [0084] 発光素子を上記範囲のチップサイズ及び形状とすることにより、透光性電極 7 及び半導体層 20 において、絶縁層 15 及び正極ボンディングパッド 8 に対応する位置 A の周辺部に電流が効果的に拡散される。これにより、位置 A の周辺部や n 型半導体層 4 に設けられる負極ボンディングパッド 9 の周辺部が効果的に発光する作用がより顕著となり、優れた発光効率が得られるものとなる。
- [0085] また、本実施形態においては、発光素子 1 の横縦寸法、即ち、電極離間方向寸法 $L\times$ チップ幅寸法 W を上記範囲としたうえで、その平面視における面積を $180,000\ \mu\text{m}^2$ 程度以下とすることが、上記した発光効率向上の効果が顕著となる点から好ましい。例えば、チップサイズ ($W\times L$) が $280\times550\ \mu\text{m}$ である場合には、平面視面積が $154,000\ \mu\text{m}^2$ となり、チップサイズ ($W\times L$) が $260\times550\ \mu\text{m}$ である場合には平面視面積が $143,000\ \mu\text{m}^2$ 、 $240\times400\ \mu\text{m}$ である場合には $96,000\ \mu\text{m}^2$ 、 $180\times400\ \mu\text{m}$ である場合には $72,000\ \mu\text{m}^2$ となる。
- [0086] また、本実施形態においては、発光素子 1 の電極離間方向寸法 $L\times$ チップ幅寸法 W 、並びに、平面視面積を上記範囲としたうえで、その平面視における横縦寸法比、即ち、(電極離間方向寸法 L) / (チップ幅寸法 W) を、 $1.5\sim2.7$ の範囲とすることが、上記した発光効率向上の効果が顕著となる点から好ましい。例えば、チップサイズ ($W\times L$) が $260\times550\ \mu\text{m}$ である場合には、横縦寸法比 (L/W) が 2.12 となり、 $240\times400\ \mu\text{m}$ の場合には (L/W) = 1.67 、また、 $180\times400\ \mu\text{m}$ の場合に

は $(L/W) = 2.2$ となる。

[0087] なお、上述した正極ボンディングパッド 8 と負極ボンディングパッド 9 の電極中心間距離は、発光素子 1 の電極離間方向寸法 L によって制限される。本実施形態においては、発光素子 1 の平面視寸法並びに形状を上記条件としたうえで、電極中心間距離を、次式 {発光素子の電極離間方向寸法 $L \times 0.5 \sim 0.75$ } の範囲とすることが、本発明による効果が顕著になるとともに、発光ムラ等が生じること無く、より高い発光効率が得られる点から好ましい。

[0088] 以上説明したような、本発明に係る発光素子 1 によれば、基板 11 上に形成された単結晶の下地層 3 上に、 n 型半導体層 4、発光層 5 及び p 型半導体層 6 が順次積層された半導体層 20 が形成され、 p 型半導体層 6 上に透光性電極 7 が形成されてなり、さらに、 p 型半導体層 6 上の少なくとも一部に絶縁層 15 が備えられるとともに透光性電極 7 が絶縁層 15 を覆って形成され、透光性電極 7 の表面 7a において、 p 型半導体層 6 上に備えられた絶縁層 15 前記絶縁層の上方の位置 A に正極ボンディングパッド 8 が設けられているので、透光性電極 7 及び半導体層 20 における正極ボンディングパッド 8 に対応する位置での電流集中が抑制でき、素子全体がより均一に発光することにより、発光効率が向上する。また、透光性電極 7 のシート抵抗 R_{s1} が n 型半導体層 4 のシート抵抗 R_{s2} よりも低い構成とされているので、透光性電極 7 上に設けられた正極ボンディングパッド 8 による光の吸収や多重反射による損失が抑制でき、光取り出し効率が向上する。従って、発光効率及び光取り出し効率に優れ、高い外部量子効率を備えた発光素子 1 を提供することが可能となる。

[0089] なお、本発明に係る発光素子では、例えば、基板として、図 3 及び図 4 に示すように、 (0001) C 面からなる平面 111 と複数の凸部 112 とからなる主面 110 を有する基板 100 を採用し、さらに、下地層 103 が、主面 110 上において、平面 111 及び凸部 112 を覆うように III 族窒化物半導体がエピタキシャル成長することによって形成された構成とするこ

とも可能である。

[0090] 図3及び図4に示す例の基板11Aは、複数の凸部112が形成されている。そして、基板100の主面110において凸部112の形成されていない部分は、(0001)C面からなる平面111とされている。従って、図3及び図4に示す例のように、基板100の主面110は、C面からなる平面111と、複数の凸部112とから構成されている。

[0091] 凸部112は、図示例のように、C面に非平行の表面112cからなるものであり、この表面112cにC面が現れていないものである。この112は、基部112aの平面形状が略円形であり、上部に向かって徐々に外形が小さくなる形状とされており、側面112bが外側に向かって湾曲したお椀状（半球状）の形状とされている。なお、凸部が、詳細を後述するように、サファイア以外の酸化物又は窒化物から構成される場合は、円柱形としても構わない。また、凸部112の平面配置としては、碁盤目状に等間隔に配置されている。

[0092] 凸部112は、基部幅 d_1 が $0.05 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 、高さ h が $0.05 \sim 1 \mu\text{m}$ の範囲で且つ基部幅 d_1 の $1/4$ 以上とされており、隣接する凸部112間の間隔 d_2 が基部幅 d_1 の $0.3 \sim 5$ 倍とされている。ここで、凸部112の基部幅 d_1 とは、凸部112の底辺（基部112a）における最大幅の長さのことをいう。また、隣接する凸部112の間隔 d_2 とは、最も近接した凸部112の基部112aの縁の間の距離をいう。

[0093] 隣接する凸部112間の間隔 d_2 は、基部幅 d_1 の $0.5 \sim 5$ 倍とされることが好ましい。凸部112間の間隔 d_2 が基部幅 d_1 の 0.3 倍未満であると、n型半導体層4（半導体層20）を構成する下地層103をエピタキシャル成長させる際に、C面からなる平面111上からの結晶成長が促進され難くなり、凸部112を下地層103で完全に埋め込むことが難しくなるし、下地層103の表面103aの平坦性が十分に得られない場合がある。従って、凸部112を埋め下地層103上にLED構造をなす半導体層の結晶を形成した場合、この結晶は当然にピットが多く形成されることとなり、形成

されるⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の出力や電気特性等の悪化につながってしまう。また、凸部112間の間隔 d_2 が基部幅 d_1 の5倍を超えると、基板100を用いてⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子を形成した場合に、基板100と、基板100上に形成されたⅢⅢⅢ族窒化物半導体層との界面での光の乱反射の機会が減少し、光の取り出し効率を十分に向上させることができなくなる恐れがある。

[0094] 基部幅 d_1 は $0.05 \sim 1.5 \mu\text{m}$ とされることが好ましい。基部幅 d_1 が $0.05 \mu\text{m}$ 未満であると、基板100を用いてⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子を形成した場合に、光を乱反射させる効果が十分に得られない恐れがある。また、基部幅 d_1 が $1.5 \mu\text{m}$ を超えると、凸部112を埋めて下地層103をエピタキシャル成長させることが困難になる。また、平坦性及び結晶性の良好な下地層が形成できたとしても、下地層と発光層との間の歪みが大きくなり、内部量子効率の低下を招いてしまう。また、基部幅 d_1 は、上記範囲内においてより小さい構成とすれば、発光素子の発光出力がさらに向上するという効果が得られる。また、基部幅 d_1 は $0.05 \sim 1 \mu\text{m}$ とされることがより好ましい。

[0095] 凸部112の高さ h は $0.05 \sim 1 \mu\text{m}$ とされることが好ましい。凸部112の高さ h が $0.05 \mu\text{m}$ 未満であると、基板100を用いてⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子を形成した場合に、光を乱反射させる効果が十分に得られない恐れがある。また、凸部112の高さ h が $1 \mu\text{m}$ を超えると、凸部112を埋めて下地層103をエピタキシャル成長することが困難になり、下地層103の表面の平坦性が十分に得られない場合がある。

[0096] また、凸部112の高さ h は基部幅 d_1 の $1/4$ 以上とされることが好ましい。凸部112の高さ h が基部幅 d_1 の $1/4$ 未満であると、基板100を用いてⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子を形成した場合における光を乱反射させる効果や、光の取り出し効率を向上させる効果が十分に得られない恐れがある。

[0097] なお、凸部112の形状は、図3及び図4に示す例に限定されるものでは

なく、C面に非平行の表面からなるものであれば、いかなる形状であってもよい。例えば、基部の平面形状が略多角形であり、上部に向かって徐々に外形が小さくなる形状とされており、側面111が外側に向かって湾曲している形状であってもよい。また、側面が上部に向かって徐々に外形が小さくなる斜面からなる略円錐状や略多角錐状とされていてもよい。また、側面の傾斜角度が2段階的変化する形状であってもよい。また、凸部が、詳細を後述するように、サファイア以外の酸化物又は窒化物から構成される場合は、円柱形としても構わない。また、凸部112の平面配置も、図示例に限定されるものではなく、等間隔であってもよいし、等間隔でなくてもよい。また、凸部112の平面配置は、四角形状であってもよいし、三角形状であってもよいし、ランダムであってもよい。

[0098] また、基板100上に設けられる凸部112は、詳細を後述する製造方法により、基板100をエッチングすることによって形成することができるが、これには限定されない。例えば、基板上に、凸部をなす別の材料を基板100のC面上に堆積させることによって凸部を形成してもよい。基板上に、凸部をなす別の材料を堆積させる方法としては、例えば、スパッタ法、蒸着法、CVD法等の各方法を用いることができる。また、凸部をなす材料としては、酸化物や窒化物等、基板の材料とほぼ同等の屈折率を有する材料を用いることが好ましく、基板がサファイア基板の場合には、例えば、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 SiN 、 ZnO 等を用いることができる。

[0099] 上記一例のように、基板100を、平面111及び凸部112からなる主面110が備えられた上記構成とすることにより、基板100と、詳細を後述する下地層103との界面が、バッファ層102を介して凹凸とされるので、光の乱反射によって発光素子の内部への光の閉じ込めが低減され、光取り出し効率に優れた発光素子の実現できる。

[0100] [III族窒化物半導体発光素子の製造方法]

本発明に係るIII族窒化物半導体発光素子の製造方法は、基板11の主面11a上に単結晶の下地層（III族窒化物半導体層）3を形成するエピ

タキシャル工程と、下地層 3 上に n 型半導体層 4、発光層 5 及び p 型半導体層 6 を順次積層して半導体層 20 を形成する半導体層形成工程と、p 型半導体層 6 上に透光性電極 7 を形成する透光性電極形成工程とが備えられてなり、透光性電極形成工程が、p 型半導体層 6 上の少なくとも一部に絶縁層 15 を形成した後、p 型半導体層 6 上に絶縁層 15 を覆うように透光性電極 7 を形成し、透光性電極形成工程の後、透光性電極 7 の表面 7a において、p 型半導体層 6 上に形成された絶縁層 15 の上方の位置 A に正極ボンディングパッド 8 を形成する正極形成工程が備えられており、さらに、透光性電極形成工程は、透光性電極 7 のシート抵抗が n 型半導体層 4 のシート抵抗よりも低くなるように透光性電極 7 を形成する方法である。

以下、本発明の製造方法に備えられる各工程について詳しく説明する。

[0101] 『バッファ層形成工程』

本発明に係る製造方法では、エピタキシャル工程の前に、基板 11 の主面 11a 上にバッファ層 2 を形成するバッファ層形成工程が備えられていることが好ましい。また、本発明においては、バッファ層を省略した構成とすることも可能なので、この場合にはバッファ層形成工程を行なわなくても良い。

[0102] 「基板の前処理」

本実施形態では、基板 11 をスパッタ装置のチャンバ内に導入した後、バッファ層 2 を形成する前に、プラズマ処理による逆スパッタ等の方法を用いて前処理を行うことが望ましい。

[0103] 「バッファ層の成膜」

基板 11 に前処理を行なった後、基板 11 の主面 11a 上に、反応性スパッタ法により、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) なる組成のバッファ層 2 を成膜する。反応性スパッタ法によって単結晶構造を有するバッファ層 2 を形成する場合、スパッタ装置のチャンバ内の窒素原料と不活性ガスの流量に対する窒素流量の比を、窒素原料が 50～100% の範囲となるように制御することが好ましく、75% 程度とすることがより好ましい。また、柱状結晶（

多結晶)構造を有するバッファ層2を形成する場合には、スパッタ装置のチャンバ内の窒素原料と不活性ガスの流量に対する窒素流量の比を、窒素原料が1~50%の範囲となるように制御することが好ましく、25%程度とすることがより好ましい。

[0104] また、バッファ層は、上述した反応性スパッタ法に限らず、例えば、MOCVD法を用いて形成することも可能であるが、プロセスの簡略化等の観点から、反応性スパッタ法を用いて形成することが好ましい。

[0105] 『エピタキシャル工程及び半導体層形成工程』

次に、エピタキシャル工程では、上記バッファ層形成工程の後、図1に示すように、基板11の主面11a上に形成されたバッファ層2の上に、単結晶のIII族窒化物半導体をエピタキシャル成長させて、主面11aを覆うように下地層(III族窒化物半導体層)103を形成する。

また、本発明においては、エピタキシャル工程においてIII族窒化物半導体からなる下地層3を形成した後、半導体層形成工程において、下地層3上に、n型半導体層4、発光層5及びp型半導体層6の各層からなる半導体層20を形成する。

なお、本実施形態においては、それぞれIII族窒化物半導体を用いて各層を成膜するエピタキシャル工程及び半導体層形成工程において、両工程に共通する構成については、一部、説明を省略することがある。

[0106] 本発明において、下地層3、n型半導体層4、発光層5及びp型半導体層6を形成する際の窒化ガリウム系化合物半導体(III族窒化物半導体)の成長方法は特に限定されず、反応性スパッタ法、MOCVD(有機金属化学気相成長法)、HVPE(ハイドライド気相成長法)、MBE(分子線エピタキシー法)等、窒化物半導体を成長させることが知られている全ての方法を適用できる。これらの方法の内、MOCVD法では、キャリアガスとして水素(H₂)または窒素(N₂)、III族原料であるGa源としてトリメチルガリウム(TM_G)またはトリエチルガリウム(TE_G)、Al源としてトリメチルアルミニウム(TMA)またはトリエチルアルミニウム(TEA

）、 In 源としてトリメチルインジウム（ TMI ）またはトリエチルインジウム（ TEI ）、 V 族原料である N 源としてアンモニア（ NH_3 ）、ヒドラジン（ N_2H_4 ）などが用いられる。また、ドーパントとしては、 n 型には Si 原料としてモノシラン（ SiH_4 ）またはジシラン（ Si_2H_6 ）を、 Ge 原料としてゲルマンガス（ GeH_4 ）や、テトラメチルゲルマニウム（ $(\text{CH}_3)_4\text{Ge}$ ）やテトラエチルゲルマニウム（ $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{Ge}$ ）等の有機ゲルマニウム化合物を利用できる。 MBE 法では、元素状のゲルマニウムもドーピング源として利用できる。 p 型には Mg 原料としては、例えばビスシクロペンタジエニルマグネシウム（ Cp_2Mg ）またはビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム（ EtCp_2Mg ）を用いる。

[0107] また、上述したような窒化ガリウム系化合物半導体は、 Al 、 Ga および In 以外に他の III 族元素を含有することができ、必要に応じて Ge 、 Si 、 Mg 、 Ca 、 Zn 、及び Be 等のドーパント元素を含有することができる。さらに、意図的に添加した元素に限らず、成膜条件等に依存して必然的に含まれる不純物、並びに原料、反応管材質に含まれる微量不純物を含む場合もある。

[0108] 本発明においては、上記各方法の中でも、結晶性の良好な膜が得られる点から MOCVD 法を用いることが好ましく、本実施形態では、エピタキシャル工程及び半導体層形成工程において MOCVD 法を用いた例について説明する。

[0109] 「エピタキシャル工程（下地層の形成）」

エピタキシャル工程では、図1に示すように、基板11上に形成されたバッファ層2の上に、下地層3を、従来公知の MOCVD 法を用いて形成する。

本実施形態では、 MOCVD 法を用いて下地層3を形成する方法を説明しているが、下地層3を積層する方法としては特に限定されず、転位のループ化を生じさせることができる結晶成長方法であれば、何ら制限なく用いることができる。特に、 MOCVD 法や MBE 法、 VPE 法等は、マイグレーション

オンを生じさせることができるため、結晶性の良好な膜を形成することが可能となる点で好適である。中でも、MOCVD法は、特に結晶性の良好な膜を得ることができる点で、より好適に用いることができる。

[0110] 下地層3を成膜する際の基板11の温度、つまり、下地層3の成長温度は800℃以上とすることが好ましい。これは、下地層3を成膜する際の基板11の温度を高くすることによって原子のマイグレーションが生じやすくなり、転位のループ化が容易に進行するからであり、より好ましくは900℃以上であり、1000℃以上が最も好ましい。また、下地層3を成膜する際の基板11の温度は、結晶の分解する温度よりも低温である必要があるため、1200℃未満とすることが好ましい。下地層3を成膜する際の基板11の温度が上記範囲内であれば、結晶性の良い下地層3が得られる。

[0111] なお、下地層3には、必要に応じて、不純物をドーピングして成膜することができるが、アンドープとすることが、結晶性が向上する点から好ましい。

また、反応性スパッタ法を用いてIII族窒化物半導体からなる下地層を成膜することも可能である。スパッタ法を用いる場合には、MOCVD法やMBE法等と比較して、装置を簡便な構成とすることが可能となる。

[0112] 「半導体層形成工程」

次に、半導体層形成工程においては、上記エピタキシャル工程の後、図1に示すように、下地層3の上に、n型半導体層4、発光層5及びp型半導体層6の各層からなる半導体層20を、従来公知のMOCVD法を用いて積層する。

[0113] (n型半導体層の形成)

上記エピタキシャル工程で形成された下地層3の上に、従来公知のMOCVD法を用いて、n型コンタクト層4a及びn型クラッド層4bを順次積層することにより、n型半導体層4を形成する。n型コンタクト層4a及びn型クラッド層4bを形成する成膜装置としては、上述の下地層3や後述の発光層5の成膜に用いるMOCVD装置を、各種条件を適宜変更して用いることが可能である。また、n型コンタクト層4a及びn型クラッド層4bを反

応性スパッタ法で形成することも可能である。

- [0114] 本発明に係る製造方法では、透光性電極 7 のシート抵抗 R_s 1 が n 型半導体層 4 のシート抵抗 R_s 2 よりも低くなるように透光性電極 7 を形成する方法としている。また、n 型半導体層 4 については、そのシート抵抗を、例えば、 $20 \Omega/\square$ 以下となるように制御しながら形成する必要がある。

このように、n 型半導体層 4 のシート抵抗を制御する方法としては、上述したような膜厚の適性化による方法や、Si 等の n 型不純物のドーピング量を制御する方法を適宜採用することが可能である。

- [0115] (発光層の形成)

次いで、n 型クラッド層 4 b (n 型半導体層 4) 上に、発光層 5 を、従来公知の MOCVD 法によって形成する。本実施形態で形成する発光層 5 は、図 4 に例示するように、Ga_{0.9}N 障壁層に始まり Ga_{0.9}N 障壁層に終わる積層構造を有しており、Ga_{0.9}N からなる 7 層の障壁層 5 a と、ノンドープの Ga_{0.8}In_{0.2}N からなる 6 層の井戸層 5 b とを交互に積層して形成する。また、本実施形態の製造方法では、上述した n 型半導体層 4 の成膜に用いる成膜装置 (MOCVD 装置) と同じものを使用して発光層 5 を成膜することができる。

- [0116] (p 型半導体層の形成)

次いで、発光層 5 上、つまり、発光層 5 の最上層となる障壁層 5 a の上に、p 型クラッド層 6 a 及び p 型コンタクト層 6 b からなる p 型半導体層 6 を、従来公知の MOCVD 法を用いて形成する。p 型半導体層 6 の形成には、n 型半導体層 4 及び発光層 5 の形成に用いる MOCVD 装置と同じ装置を、各種条件を適宜変更して用いることが可能である。また、p 型半導体層 6 を構成する p 型クラッド層 6 a 及び p 型コンタクト層 6 b を、反応性スパッタ法を用いて形成することも可能である。

- [0117] 本実施形態では、まず、Mg をドーピングした Al_{0.1}Ga_{0.9}N からなる p 型クラッド層 6 a を発光層 5 (最上層の障壁層 5 a) 上に形成し、さらにその上に、Mg をドーピングした Al_{0.02}Ga_{0.98}N からなる p 型コンタクト層 6 b

を形成する。この際、p型クラッド層6a及びp型コンタクト層6bの積層には、同じMOCVD装置を用いることができる。なお、上述したように、p型不純物としては、Mgのみならず、例えば亜鉛（Zn）等も同様に用いることができる。

[0118] 『透光性電極形成工程』

次に、透光性電極形成工程では、図1に示すように、p型半導体層6上の少なくとも一部に絶縁層15を形成した後、p型半導体層6上に絶縁層15を覆うように透光性電極7を形成する。また、透光性電極形成工程では、透光性電極7のシート抵抗がn型半導体層4のシート抵抗よりも低くなるように透光性電極7を形成する。

[0119] 「絶縁層の形成」

まず、p型半導体層6上の少なくとも一部、図1及び図2に示す例では略中央付近に、絶縁材料からなる絶縁層15を形成する。

絶縁層15の形成に用いる材料としては特に限定されず、従来公知の絶縁性酸化膜等を何ら制限無く用いることができ、例えば、酸化シリコン（SiO₂）を用いることができる。

また、絶縁層15する方法としては、例えば、スパッタ法等の従来公知の方法を何ら制限無く用いることができる。

[0120] 「透光性電極の形成」

次に、上記方法によって形成されたp型半導体層6の上に、絶縁層15を覆うようにIZOを積層することにより、透光性電極7を形成する。

透光性電極7の形成方法としては、特に限定されず、この技術分野でよく知られた慣用の手段で設けることができる。また、その構造も、従来公知の構造を含めて如何なる構造のものも何ら制限なく用いることができる。

[0121] 透光性電極7は、IZOの他、ITO、ITO、IGO、ICO、AZO、GZO又は導電性酸化チタン（TiO₂）等の材料を用いて形成することが可能である。また、透光性電極7を形成した後、合金化や透明化を目的とした熱アニールを施しても良い。

[0122] なお、本実施形態の透光性電極形成工程では、透光性電極 7 の表面 7 a に凹凸を形成することが好ましい。これにより、透光性電極 7 からの光取り出し効率が向上するとともに、凹凸の形状や寸法を適宜調整することで、透光性電極 7 のシート抵抗 $R_s 1$ を制御することが可能となる。

[0123] また、透光性電極 7 のシート抵抗 $R_s 1$ を制御する方法としては、上述したような膜厚を適性化する方法の他、アニール処理を施す方法が挙げられる。透光性電極 7 にアニール処理を施す場合には、窒素雰囲気下において、500℃以上900℃以下の温度範囲とした条件下で行なうことが好ましい。これにより、透光性電極 7 の結晶組織が六方晶となり、シート抵抗 $R_s 1$ を効果的に低減することが可能となる。ここで、アニール温度が900℃を超えると、IZOからなる透光性電極の結晶組織が立方晶となり、シート抵抗 $R_s 1$ を適性に制御することが困難となる。

[0124] 上記各方法を採用することにより、透光性電極 7 のシート抵抗 $R_s 1$ を、例えば、15Ω/□以下としながら、透光性電極 7 とn型半導体層 4 の各シート抵抗 $R_s 1$ 、 $R_s 2$ の関係を、次式 ($R_s 1 < R_s 2$) で表される関係に制御するのが容易になる。

[0125] 『ボンディングパッド電極の形成』

次に、本実施形態の製造方法では、透光性電極形成工程の後、透光性電極 7 の表面 7 a において p 型半導体層 6 上に形成された絶縁層 15 に対応する位置 A に正極ボンディングパッド 8 を形成する正極形成工程が備えられている。また、本実施形態では、半導体層 20 の所定の位置をエッチング除去することにより、n 型半導体層 4 を露出させて露出領域を形成し、この露出領域に負極ボンディングパッド 9 を形成する。

[0126] 「正極形成工程」

まず、透光性電極 7 の表面 7 a に、p 型半導体層 6 上に形成された絶縁層 15 に対応する位置 A で、正極ボンディングパッド 8 を形成する。この正極ボンディングパッド 8 は、例えば、透光性電極 7 の表面側から順に、Ti、Al、Au の各材料を、従来公知の方法で積層することによって形成するこ

とができる。

[0127] 「負極ボンディングパッドの形成」

負極ボンディングパッド9を形成する際は、まず、基板11上に形成されたp型半導体層6、発光層5及びn型半導体層4の一部をドライエッチング等の方法によって除去することにより、n型コンタクト層4aの一部を露出させる。そして、この露出領域上に、例えば、露出領域の表面側から順に、Ni、Al、Ti、及びAuの各材料を従来公知の方法で積層することにより、詳細な図示を省略する4層構造の負極ボンディングパッド9を形成することができる。

[0128] なお、本発明においては、上記手順及び条件で発光素子1を製造するにあたり、上述したように、平面視形状を、図2に示す例の如く、電極離間方向寸法Lがチップ幅寸法Wよりも長い略長方形形状として形成することがより好ましい。これにより、発光効率により優れた発光素子1を製造することが可能となる。

[0129] 以上説明したような、本発明に係るIII族窒化物半導体発光素子の製造方法によれば、基板11の主面11a上に単結晶の下地層（III族窒化物半導体層）3を形成するエピタキシャル工程と、下地層3上にn型半導体層4、発光層5及びp型半導体層6を順次積層して半導体層20を形成する半導体層形成工程と、p型半導体層6上に透光性電極7を形成する透光性電極形成工程とが備えられ、透光性電極形成工程は、p型半導体層6上の少なくとも一部に絶縁層15を形成した後、p型半導体層6上に絶縁層15を覆うように透光性電極7を形成し、透光性電極形成工程の後、透光性電極7の表面7aにおいて、p型半導体層6上に形成された絶縁層15の上方の位置Aに正極ボンディングパッド8を形成する正極形成工程が備えられており、さらに、透光性電極形成工程は、透光性電極7のシート抵抗がn型半導体層4のシート抵抗よりも低くなるように透光性電極7を形成する方法なので、上述したような、発光効率及び光取り出し効率に優れ、高い外部量子効率を備えた発光素子1を製造することができる。

[0130] [ランプ]

本発明のランプは、本発明のⅠⅠⅠ族窒化物半導体発光素子が用いられてなるものである。

本発明のランプとしては、例えば、本発明のⅠⅠⅠ族窒化物半導体発光素子と蛍光体とを組み合わせるものを用いることができる。ⅠⅠⅠ族窒化物半導体発光素子と蛍光体とを組み合わせるランプは、当業者周知の手段によって当業者周知の構成とすることができる。また、従来より、ⅠⅠⅠ族窒化物半導体発光素子と蛍光体とを組み合わせることによって発光色を変える技術が知られており、本発明のランプにおいてもこのような技術を何ら制限されることなく採用することが可能である。

[0131] 図7は、本発明に係るⅠⅠⅠ族窒化物半導体発光素子を用いて構成したランプの一例を模式的に示した概略図である。図5に示すランプ80は、砲弾型のものであり、図1及び図2に示す発光素子1が用いられている。図7に示すように、発光素子1の正極ボンディングパッド8がワイヤー83で2本のフレーム81、82の内一方（図7ではフレーム81）に接着され、発光素子1の負極ボンディングパッド9がワイヤー84で他方のフレーム82に接合されることにより、発光素子1が実装されている。また、発光素子1の周辺は、透明な樹脂からなるモールド85で封止されている。

[0132] 本発明のランプは、本発明の発光素子1が用いられてなるものであるもので、優れた発光特性を備えたものとなる。

なお、本発明のランプは、一般用途の砲弾型、携帯のバックライト用途のサイドビュー型、表示器に用いられるトップビュー型等いかなる用途にも用いることができる。

実施例

[0133] 次に、本発明のⅠⅠⅠ族窒化物半導体発光素子及びその製造方法、並びにランプに関し、実施例及び比較例を示してより詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例にのみ限定されるものではない。

[0134] [実施例1]

本実施例においては、以下に説明するような手順により、発光素子のサンプルを作製した（図１～図４、図７等を参照）。

まず、サファイア基板の（０００１）Ｃ面からなる主面１１ａを有する基板１１を準備した。ここで、本実施例においては、基板１１として、主面１１ａ上に、図示略の複数の凸部が形成されているものを用いた（図３、４において主面１１０上に形成された凸部１１２を参照）。また、本実施例では、主面１１ａに形成された凸部の基部幅 d_1 が $1.3\mu\text{m}$ 、高さ h が $0.7\mu\text{m}$ 、間隔 d_2 が $0.7\mu\text{m}$ とされた基板を用いた。

[0135] そして、基板１１の主面１１ａ上に、ＲＦスパッタ法を用いて単結晶構造を有するＡＩＮからなる厚さ 50nm バッファ層２を形成した。この際、スパッタ成膜装置としては、高周波式の電源を備え、ターゲット内でマグネットの位置を動かすことが可能な機構を有するものを使用した。

[0136] このようにして得られたバッファ層２上に、以下に示す減圧ＭＯＣＶＤ法を用いてⅢ族窒化物半導体からなる下地層３を形成した（エピタキシャル工程）。

まず、スパッタ成膜装置から取り出した、バッファ層２が形成された基板１１を、ＭＯＣＶＤ法によるⅢ族窒化物半導体層の成長のための反応炉内に導入した。そして、アンモニアガスの流通を続けながら水素雰囲気中で、基板１１の温度を 1120°C に昇温させ、トリメチルガリウム（ＴＭＧ）の気相成長反応炉内への供給を開始し、バッファ層２上にアンドープのＧａＮを $3\mu\text{m}$ の膜厚までエピタキシャル成長させた。

[0137] 下地層３の形成に引き続き、同じＭＯＣＶＤ装置によってＧａＮからなるｎ型コンタクト層４ａの初期層を形成した（半導体層形成工程）。この際、ｎ型コンタクト層４ａにはＳｉをドーピングした。結晶成長は、Ｓｉのドーパント原料として SiH_4 を流通させた以外は、下地層と同じ条件によって行った。

[0138] 次いで、上記手順で作製したｎ型コンタクト層４ａ上に、同じＭＯＣＶＤ装置を用いて、ｎ型クラッド層４ｂを積層した。

また、 n 型半導体層 4 の形成時、 Si ドープ量を適宜調整することにより、そのシート抵抗を下記表 1 に示す範囲で適宜調整した。

[0139] 次いで、上記手順で作製した n 型クラッド層 4 b 上に、同じ MOCVD 装置を用いて発光層 5 を積層した。

本実施例で形成した発光層 5 は、 GaN からなる障壁層 5 a と、 $Ga_{0.85}In_{0.15}N$ からなる井戸層 5 b とから構成される多重量子井戸構造を有する。この発光層 5 の形成にあたっては、 Si ドープの $GaInN$ と GaN の超格子構造からなる n 型クラッド層 4 b 上に、まず、障壁層 5 a を形成し、この障壁層 5 a 上に、 $Ga_{0.85}In_{0.15}N$ からなる井戸層 5 b を形成した。このような積層手順を 6 回繰り返した後、6 番目に積層した井戸層 5 b 上に、7 番目の障壁層 5 a を形成し、多重量子井戸構造を有する発光層 5 の両側に障壁層 5 a を配した構造とした。

以上の手順にて、多重量子井戸構造の発光層 5 を形成した。

[0140] 上述の各工程に引き続き、同じ MOCVD 装置を用いて、4 層の $Al_{0.06}Ga_{0.94}N$ と 3 層の Mg をドープした GaN よりなる超格子構造を持つ p 型クラッド層 6 a を成膜した。そして、さらにその上に、膜厚が 200 nm の Mg ドープ GaN からなる p 型コンタクト層 6 b を成膜し、 p 型半導体層 6 とした。

このようにして、下地層 3 上に、 n 型半導体層 4、発光層 5 及び p 型半導体層 6 の各層をこの順で積層し、半導体層 20 を形成した。

[0141] 次いで、上記手順で得られたウェーハを用いて、以下に示す手順で、半導体発光素子の一種である発光ダイオード (LED) を作製した (図 1 及び図 2 を参照)。

まず、 p 型半導体層 6 上の 1 箇所に、公知のスパッタ法を用いて、 SiO_2 からなる絶縁層 15 を形成した。この際、絶縁層 15 を 200 nm の膜厚で形成するとともに、直径が $100\text{ }\mu\text{ m}$ の円形状とした。

次いで、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、絶縁層 15 を覆うように、 p 型半導体層 6 上に IZO 材料からなる層を成膜することにより、透

光性電極 7 を形成した（透光性電極形成工程）。この際、膜厚を 400 nm とするとともに、窒素雰囲気下でアニールを施すことにより、透光性電極 7 のシート抵抗を、下記表 1 に示す数値で適宜調整した。

[0142] 次いで、公知のフォトリソグラフィ技術によって、透光性電極 7 の表面 7 a において、その下層の絶縁層 15 に対応する位置に、Ti、Al 及び Au を順に積層することにより、3 層構造の正極ボンディングパッド 8 を形成した（正極形成工程）。この際、正極ボンディングパッド 8 を、直径が 90 μm の円形状として形成した。

そして、半導体層 20 及び透光性正極 7 の一部にドライエッチングを施して除去することにより、n 型コンタクト層 6 a が露出した露出領域を設けた後、この上に Ni、Al、Ti 及び Au の各層を順次積層することにより、図 1 及び図 2 に示すような負極ボンディングパッド 9 を形成した。また、この際、ウェーハの平面視における正極ボンディングパッド 8 と負極ボンディングパッド 9 の中心間距離を 440 μm とした。

[0143] 次いで、各電極が形成されたウェーハの基板 11 の裏面側を研削及び研磨してミラー状の面とした後、このウェーハを 240 μm （チップ幅寸法 W） $\times$ 600 μm （電極離間方向寸法 L）角の長方形のチップに切断して LED（発光ダイオード）のチップ（発光素子 1）とした。

そして、このチップを、正極ボンディングパッド 8 及び負極ボンディングパッド 9 が上になるようにリードフレーム 81 上に載置し、金線でリードフレームに結線することによってランプ 80（図 7 参照）を作製した。

[0144] そして、上記方法で作製したランプの p 側（正極ボンディングパッド 8）及び n 側（負極ボンディングパッド 9）の電極間に 20 mA、必要に応じて 100 mA の順方向電流を流した際の発光出力 P_o （mW）を測定し、結果を下記表 1 に示した。

[0145] [実施例 2～5、比較例 1、2]

実施例 2～5、比較例 1、2 においては、透光性電極の膜厚、及び、ウェーハ平面視での正極ボンディングパッドと負極ボンディングパッドの中心間

距離を下記表 1 に示す条件とし、また、各シート抵抗の関係が下記表 1 に示す関係となるように適宜調整した点を除き、上記実施例 1 と同様の方法で、 $240\mu\text{m} \times 600\mu\text{m}$ 角の長方形とされた III 族窒化物半導体発光素子のチップを作製した。そして、上記同様、このチップを用いてランプを作製した。

[0146] そして、上記同様の方法で、ランプの p 側（正極ボンディングパッド）及び n 側（負極ボンディングパッド）の電極間に 20mA 、必要に応じて 100mA の順方向電流を流した際の発光出力 P_o (mW) を測定した。

[0147] 上記実施例 1 ～ 5 及び比較例 1、2 におけるシート抵抗及び透光性電極の膜厚、並びに発光出力 (P_o) の測定結果を下記表 1 に示す。

[0148]

[表1]

No.	シート抵抗 ($\Omega/\square$)		透光性電極の膜厚 (nm)	正極－負極ボンディングパッドの距離 (μm)	発光出力 (P_o : mW)	
	n型半導体層: Rs2	透光性電極: Rs1			IF = 20mA	IF = 100mA
実施例1	14	7	400	440	19.1	73
実施例2	14	4	600	440	18.9	—
実施例3	9	7	400	440	18.8	—
実施例4	9	4	600	440	18.6	—
実施例5	6	4	600	440	18.6	—
比較例1	9	13	250	440	17.2	—
比較例2	6	13	250	440	16.5	—

[0149] [実施例 6 ～ 9]

実施例 6 ～ 9 においては、透光性電極の膜厚及び各シート抵抗の関係を下記表 2 に示す条件とし、また、ウェーハ平面視における電極離間方向寸法（L：チップ長さ寸法）及びこれに直交する方向でのチップ幅寸法（W）、並びに、正極ボンディングパッドと負極ボンディングパッドの中心間距離が下記表 2 に示す関係となるように適宜調整した点を除き、上記実施例 1 と同様の方法で III 族窒化物半導体発光素子のチップを作製した。そして、上記同様、このチップを用いてランプを作製した。

[0150] そして、上記同様の方法で、ランプの p 側（正極ボンディングパッド）及び n 側（負極ボンディングパッド）の電極間に 20 mA、必要に応じて 100 mA の順方向電流（ I_F ：駆動電流）を流した際の発光出力 P_o （mW）を測定した。

[0151] 上記実施例 6 ～ 9 における発光素子の仕様、並びに、発光出力（ P_o ）の測定結果を下記表 2 に示す。

[0152]

[表2]

No.	シート抵抗 ($\Omega/\square$)		透光性電極の膜厚 (nm)	平面視における各部の寸法					発光出力 (P_o : mW)	
	n型半導体層 (Rs2)	透光性電極 (Rs1)		電極縦間方向寸法 (チップ長さ寸法L) (μm)	チップ幅寸法W (μm)	横縦寸法比 (L/W)	面積 ($W \times L$: μm^2)	電極中心間距離 (μm)	IF = 20mA	IF = 100mA
実施例6	14	7	400	550	260	2.1	143000	390	19.0	72
実施例7	14	4	600	400	240	1.7	96000	220	17.5	64
実施例8	9	7	400	400	180	2.2	72000	220	16.0	58
実施例9	9	7	400	550	280	2.0	15460	340	18.5	80

[0153] [評価結果]

表 1 に示すように、本発明に係る発光素子の構成を備えた実施例 1 のサンプルは、順方向電流 (I_F) 20 mA における発光出力 (P_o) が 19.1 mW となり、また、順方向電流を 100 mA とした場合の発光出力は 73 mW と、非常に優れた発光出力が得られた。また、透光性電極 7 のシート抵抗 R_{s1} が n 型半導体層 4 のシート抵抗 R_{s2} よりも低く調整された実施例 2 ~ 5 の各々のサンプルにおいては、各々の発光出力が 18.6 mW 以上となり、高い発光出力を備えていることが確認できた。

[0154] これに対して、透光性電極のシート抵抗が n 型半導体層のシート抵抗よりも高い抵抗値とされ、本発明で規定する関係を満たしていない比較例 1、2 の各サンプルは、発光出力が 16.5 ~ 17.2 mW であり、上記各実施例のサンプルに比べて低出力となっている。

比較例 1、2 のサンプルは、透光性電極のシート抵抗が n 型半導体層のシート抵抗よりも高いことから、主として p 側である正極ボンディングパッドに対応する位置の半導体層が発光したため、正極ボンディングパッドによる光の吸収や多重反射が生じ、光取り出し率が低下したものと考えられる。

[0155] また、表 2 に示す実施例 6 ~ 9 の結果は、ウェーハ平面視での電極離間方向寸法 (L) 及びチップ長さ寸法 (W)、並びに、正極ボンディングパッドと負極ボンディングパッドの電極中心間距離を適宜変化させた例である。

例えば、実施例 6 は、チップサイズを $L = 550 \mu m$ 、 $W = 260 \mu m$ とし、横縦比 = 2.12 とした例であるが、発光出力が 19.0 mW と、高出力となっている。

また、実施例 7 は、チップサイズを $L = 400 \mu m$ 、 $W = 240 \mu m$ とした例であるが、発光出力が 17.5 mW と高出力となっている。

なお、実施例 6 及び 7 においては、電極中心間距離を、ともに $220 \mu m$ としている。

[0156] また、実施例 8 は、チップサイズを $L = 400 \mu m$ 、 $W = 180 \mu m$ とした例であるが、発光出力が 16.0 mW と高出力となっている。

また、実施例 9 は、チップサイズを $L = 550 \mu\text{m}$ 、 $W = 280 \mu\text{m}$ とした例であるが、発光出力が 18.5 mW と高出力となっている。なお、実施例 9 においては、電極中心間距離を $340 \mu\text{m}$ としている。

[0157] ここで、順方向電流 I_F を 20 mA とした場合においては、実施例 6 のようなチップ形状とされたサンプルの方が、他の実施例のチップ形状の場合よりも高い発光出力となっている。また、順方向電流 I_F を 100 mA とした場合においては、実施例 9 のようなチップ形状とされたサンプルの方が、他の実施例のチップ形状の場合よりも高い発光出力となっている。

[0158] このように、表 2 に示す実施例 6～9 の結果より、発光素子の平面視寸法を適正にすることで、発光効率を向上できる本発明の効果が、より顕著に得られることがわかる。

即ち、本発明では、透光性電極のシート抵抗を n 型半導体層のシート抵抗よりも低くすることで上記効果が得られ、さらに好ましくは、チップ幅寸法 W : チップ長さ寸法 L を、 $1 : 1$ ($L/W = 1$) $\sim 1 : 2.7$ ($L/W = 2.7$) の範囲の比とし、正形状チップ及び長尺形状チップに構成することで、順方向電流 I_F が $5 \sim 30 \text{ mA}$ の条件において、特に効果的に発光効率が向上することがわかる。

[0159] 上記各実施例の発光素子においては、透光性電極のシート抵抗が n 型半導体層のシート抵抗よりも低いため、比較例の発光素子に比べて正極ボンディングパッド (p 側) 周辺での電流集中が抑制され、素子全体にわたってより均一に発光し、発光効率が向上していた。

このように、本発明の III-V 族窒化物半導体発光素子が、電極直下における電流集中が抑制され、素子全体にわたってより均一に発光し、発光効率に優れるとともに、電極による光の吸収や多重反射による損失が抑制されて光取り出し効率に優れ、高い発光強度を備えていることが明らかである。

符号の説明

[0160] 1… III-V 族窒化物半導体発光素子 (発光素子)、
11、100…基板、

1 1 a、1 1 0…主面、
4…n 型半導体層、
5…発光層、
6…p 型半導体層、
7…透光性電極、
7 a…表面（透光性電極）、
8…正極ボンディングパッド、
1 5…絶縁層、
2 0…半導体層、
8 0…ランプ、
A…位置（透光性電極の表面において絶縁層に対応する位置）、
R s 1…シート抵抗（透光性電極）、
R s 2…シート抵抗（n 型半導体層）

請求の範囲

- [請求項1] 基板上に形成された単結晶のⅢⅢⅢ族窒化物半導体層上に、n型半導体層、発光層及びp型半導体層が順次積層された半導体層が形成されており、前記p型半導体層上に透光性電極が形成されてなるⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子であって、
- 前記p型半導体層上の少なくとも一部に絶縁層が備えられるとともに、前記透光性電極が前記絶縁層を覆って形成されており、
- 前記透光性電極の表面において、前記p型半導体層上に備えられた前記絶縁層の上方に正極ボンディングパッドが設けられており、
- 前記透光性電極のシート抵抗が、前記n型半導体層のシート抵抗よりも低いことを特徴とするⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。
- [請求項2] 前記透光性電極のシート抵抗が $15\ \Omega/\square$ 以下であり、前記n型半導体層のシート抵抗が $20\ \Omega/\square$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。
- [請求項3] 前記透光性電極の表面の少なくとも一部が凹凸形状とされていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。
- [請求項4] 前記透光性電極が、酸化インジウム錫（ITO: Indium Tin Oxide）、酸化インジウム亜鉛（IZO: Indium Zinc Oxide）、酸化インジウムガリウム（IGO: Indium Gallium Oxide）、酸化インジウムセリウム（ICO: Indium Cerium Oxide）及び導電性酸化チタン（ TiO_2 ）からなる群から選ばれる少なくとも1種が用いられてなることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。
- [請求項5] 前記絶縁層が、酸化シリコン（ SiO_2 ）からなることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子。
- [請求項6] 基板上に単結晶のⅢⅢⅢ族窒化物半導体層を形成するエピタキシャ

ル工程と、前記Ⅲ族窒化物半導体層上にn型半導体層、発光層及びp型半導体層を順次積層して半導体層を形成する半導体層形成工程と、前記p型半導体層上に透光性電極を形成する透光性電極形成工程とが備えられてなるⅢ族窒化物半導体発光素子の製造方法であって、

前記透光性電極形成工程は、前記p型半導体層上の少なくとも一部に絶縁層を形成した後、前記p型半導体層上に前記絶縁層を覆うように前記透光性電極を形成し、

前記透光性電極形成工程の後、前記透光性電極の表面において、前記p型半導体層上に形成された前記絶縁層の上方に正極ボンディングパッドを形成する正極形成工程が備えられており、

さらに、前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極のシート抵抗が前記n型半導体層のシート抵抗よりも低くなるように前記透光性電極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。

[請求項7] 前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極を $15\ \Omega/\square$ 以下のシート抵抗となるように形成し、前記半導体層形成工程は、前記n型半導体層を $20\ \Omega/\square$ 以下のシート抵抗となるように形成することを特徴とする請求項6に記載のⅢ族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[請求項8] 前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極の表面の少なくとも一部に凹凸形状を形成することを特徴とする請求項6又は請求項7に記載のⅢ族窒化物半導体発光素子の製造方法。

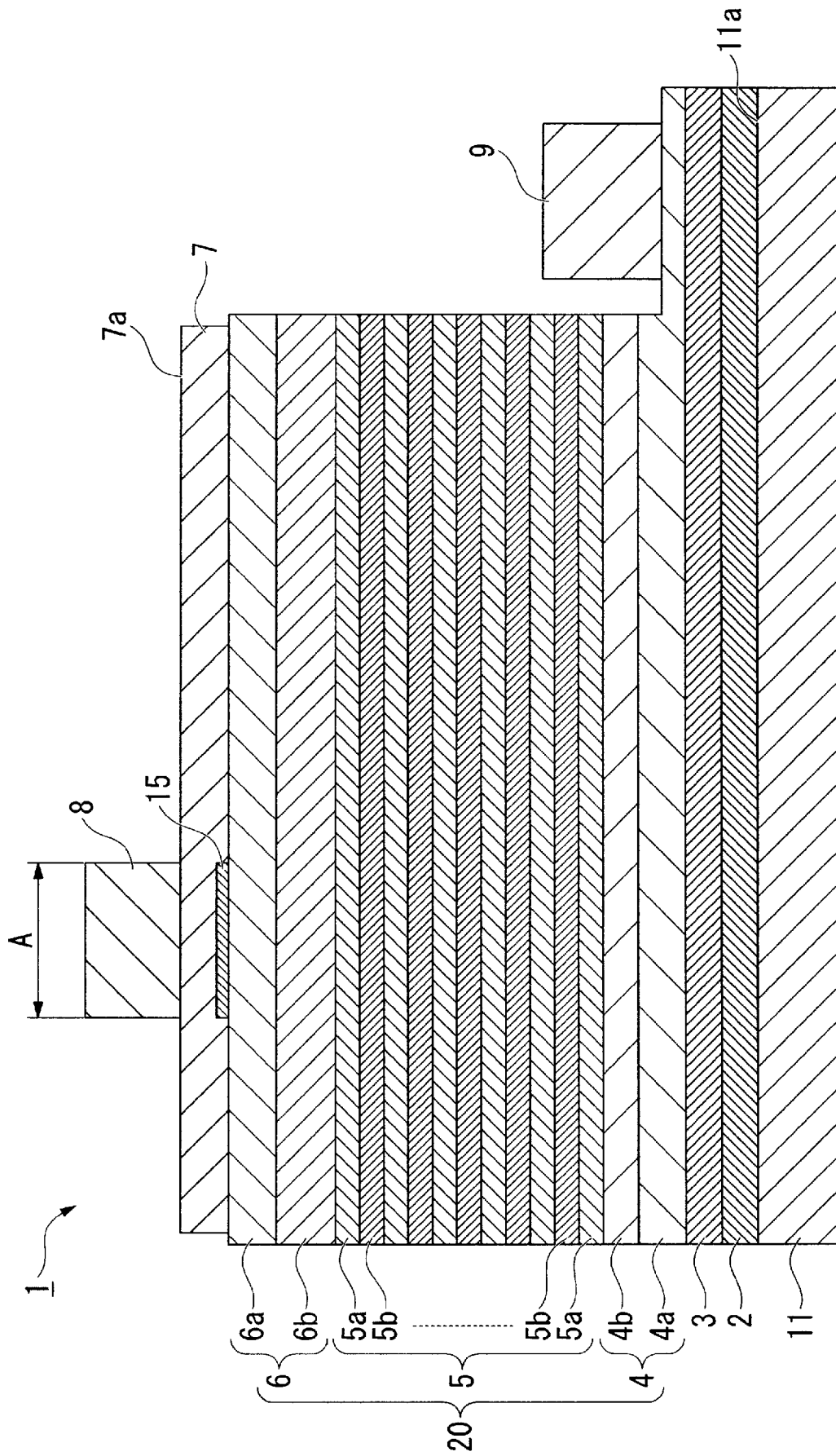
[請求項9] 前記透光性電極形成工程は、前記透光性電極を形成する材料として、酸化インジウム錫（ITO: Indium Tin Oxide）、酸化インジウム亜鉛（IZO: Indium Zinc Oxide）、酸化インジウムガリウム（IGO: Indium Gallium Oxide）、酸化インジウムセリウム（ICO: Indium

m Cerium Oxide) 及び導電性酸化チタン (TiO_2) からなる群から選ばれる少なくとも 1 種を用いることを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 に記載の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

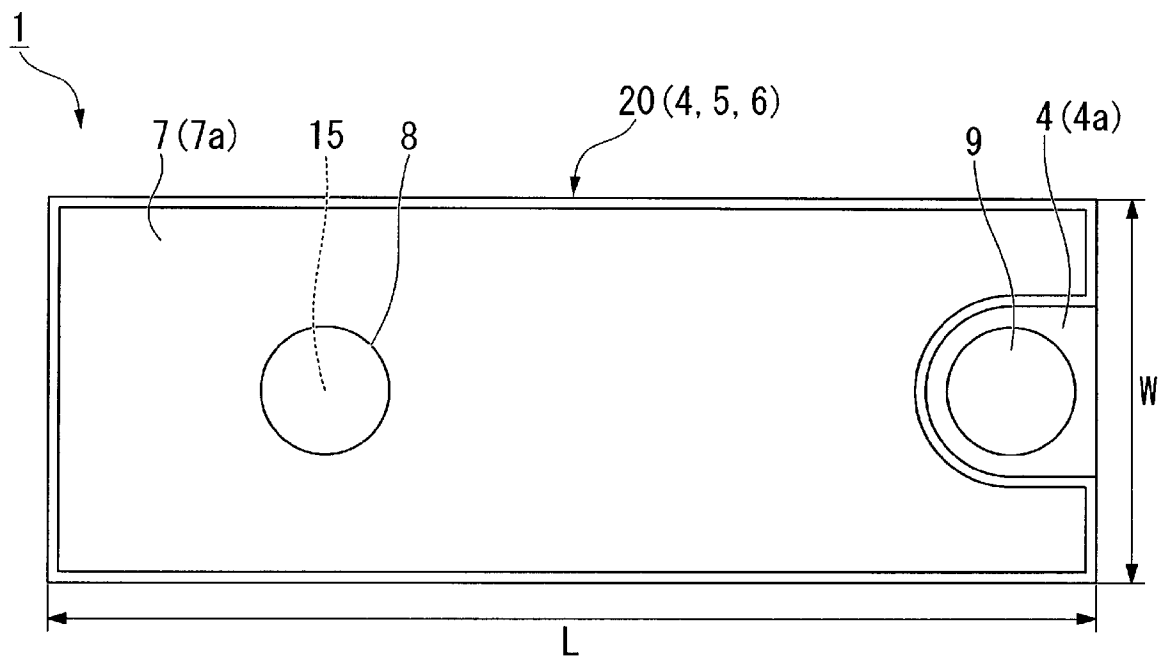
[請求項 10] 前記透光性電極形成工程は、前記絶縁層を形成する材料として酸化シリコン (SiO_2) を用いることを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 に記載の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

[請求項 11] 請求項 1 又は請求項 2 に記載の III 族窒化物半導体発光素子が用いられてなることを特徴とするランプ。

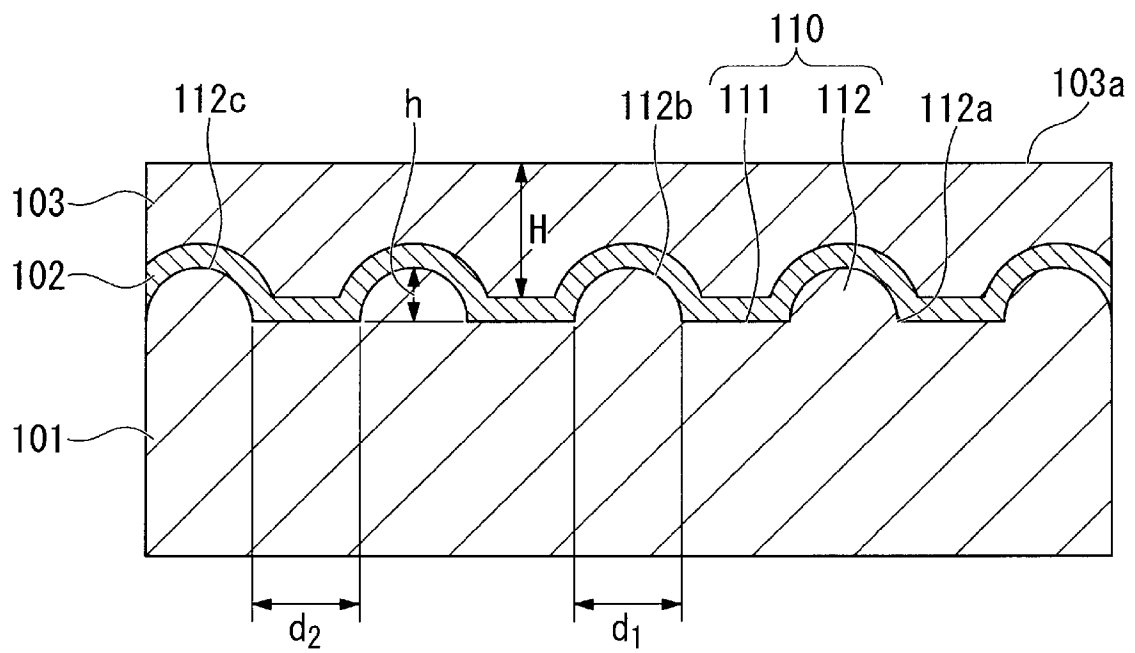
[図1]



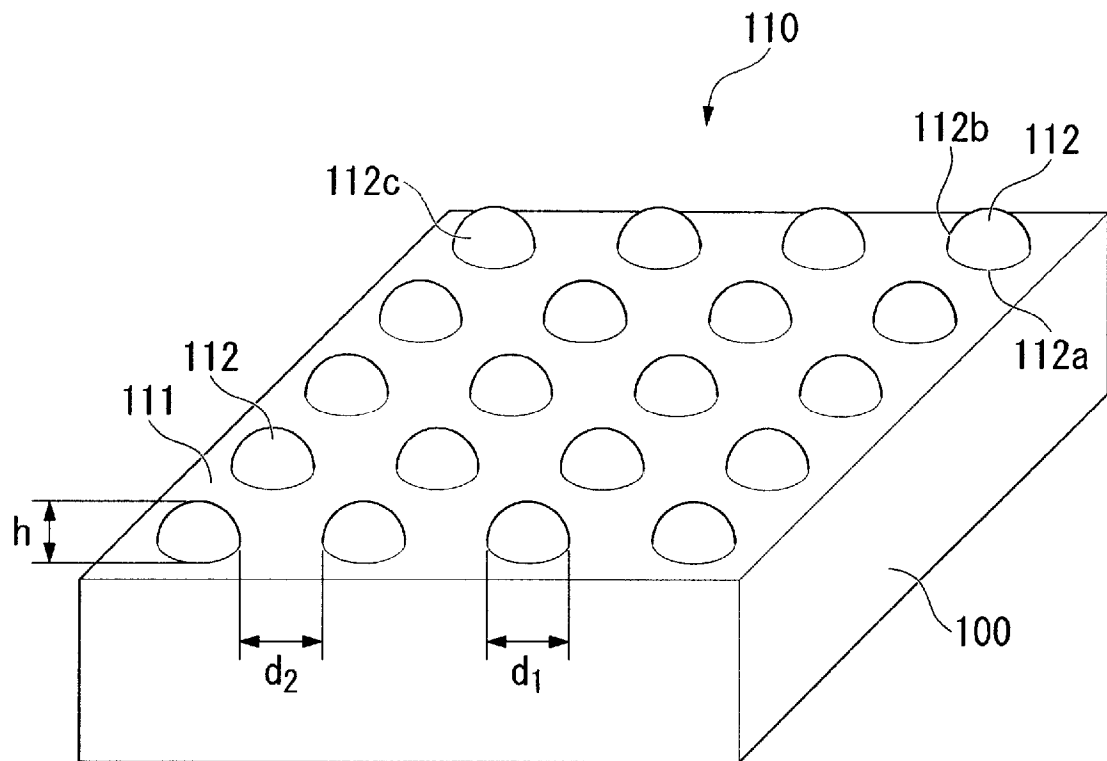
[図2]



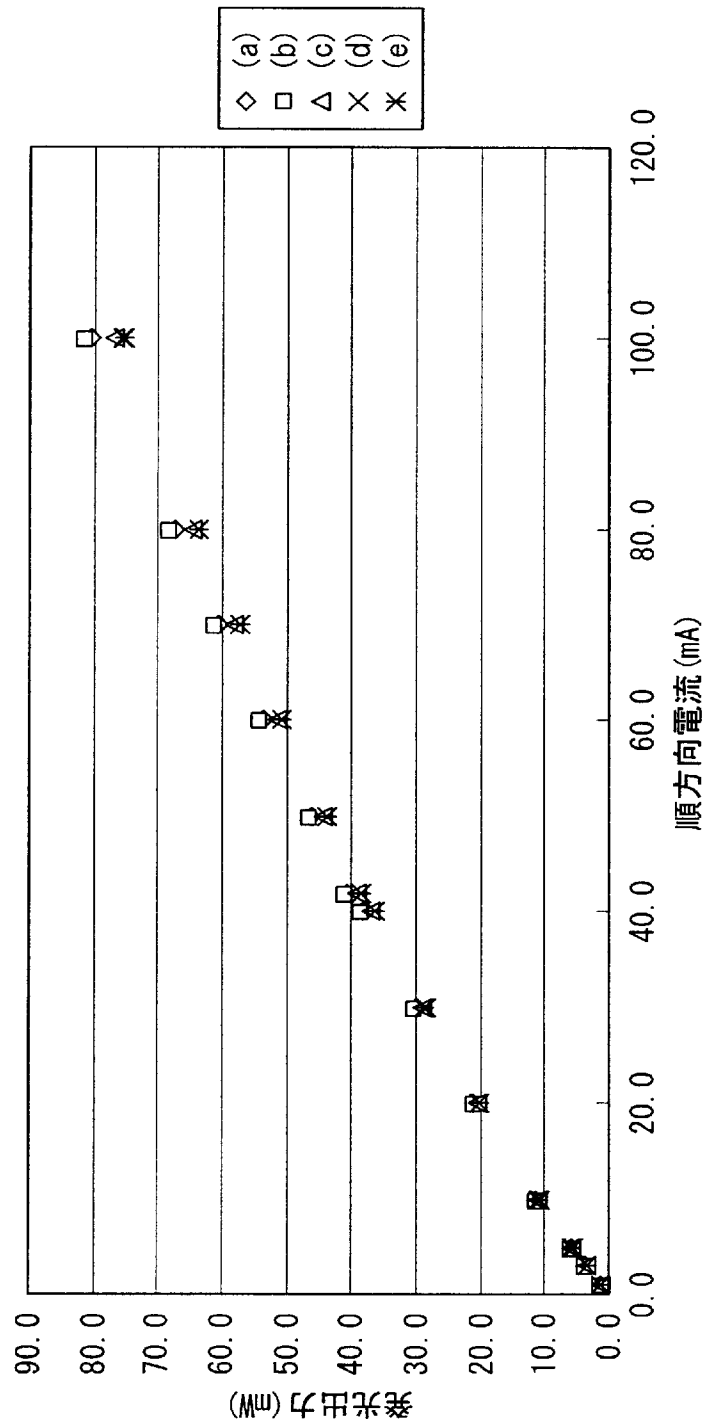
[図3]



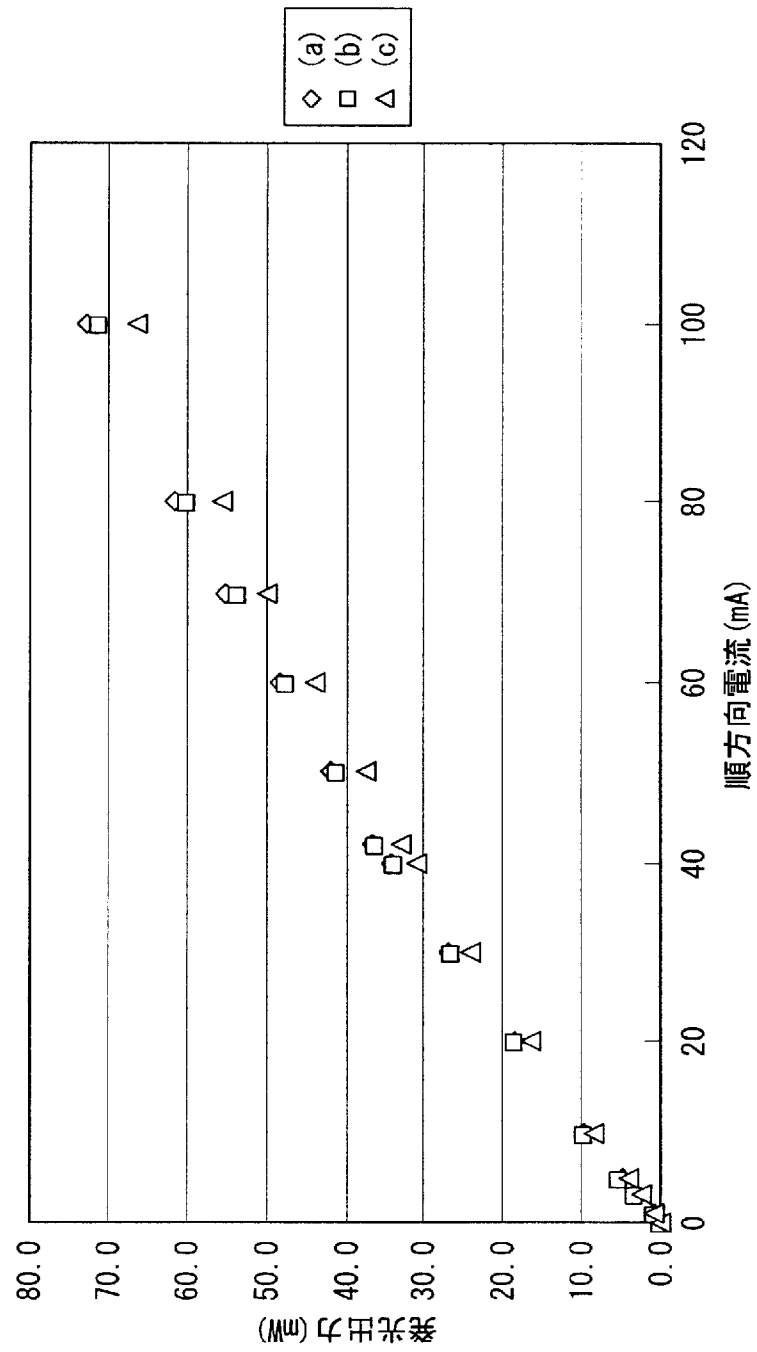
[図4]



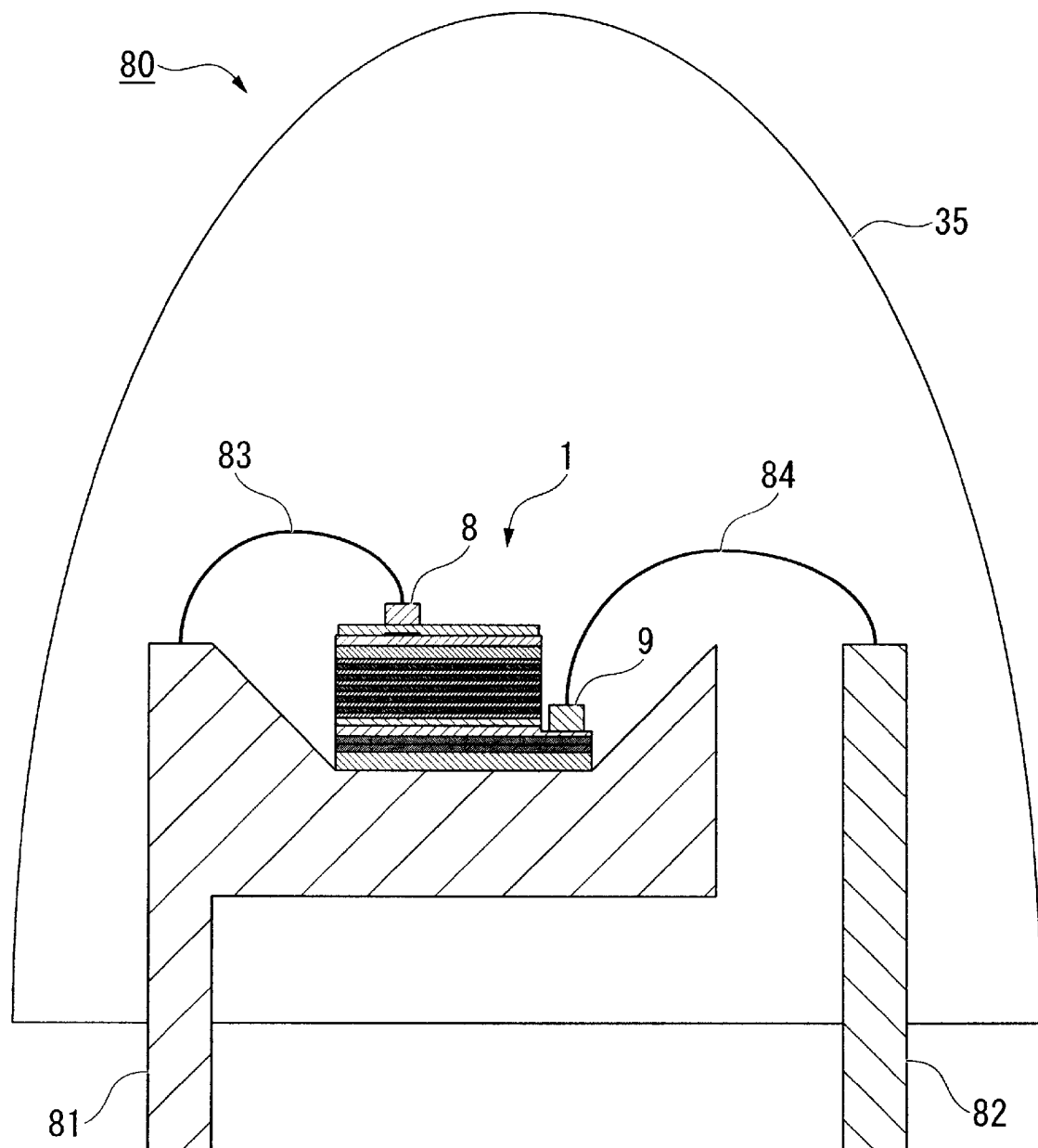
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001418

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/38(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i, H01L33/42(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

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 8-250769 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 27 September 1996 (27.09.1996), paragraphs [0009] to [0015]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-11
Y	JP 9-129921 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 16 May 1997 (16.05.1997), paragraphs [0009] to [0033]; fig. 1 (Family: none)	1-11
Y	JP 2008-10840 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 17 January 2008 (17.01.2008), paragraphs [0002] to [0006]; fig. 9 & US 2007/0272937 A1	1-11

☒ 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
31 May, 2010 (31.05.10)Date of mailing of the international search report
15 June, 2010 (15.06.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001418

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 2007-103951 A (Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.), 19 April 2007 (19.04.2007), paragraphs [0004] to [0008]; fig. 1 to 2 & US 2007/0080353 A1 & KR 10-0661614 B1	1-11
Y	JP 2010-504640 A (Soru Opto Device Co., Ltd.), 12 February 2010 (12.02.2010), paragraph [0004] (Family: none)	1-11
Y	JP 2006-128227 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 18 May 2006 (18.05.2006), paragraphs [0019] to [0044]; fig. 1 to 8 (Family: none)	3, 8
Y	JP 2008-147459 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 26 June 2008 (26.06.2008), paragraphs [0035] to [0039]; fig. 4, 5 & US 2009/0267109 A & EP 2096684 A1 & WO 2008/072681 A1 & KR 10-2009-0054466 A	3, 8, 11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L33/38(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i, H01L33/42(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（I P C））

Int.Cl. H01L33/00-33/64

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 8-250769 A（豊田合成株式会社）1996.09.27, 【0 0 0 9】－【0 0 1 5】欄、図1－3（ファミリーなし）	1－1 1
Y	JP 9-129921 A（昭和電工株式会社）1997.05.16, 【0 0 0 9】－【0 0 3 3】欄、図1（ファミリーなし）	1－1 1
Y	JP JP 2008-10840 A（日亜化学工業株式会社）2008.01.17, 【0 0 0 2】－【0 0 0 6】欄、図9 & US 2007/0272937 A1	1－1 1

☒ 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

3 1 . 0 5 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 6 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号1 0 0 - 8 9 1 5

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

2 K

8 8 2 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

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 2007-103951 A (三星電機株式会社) 2007. 04. 19, 【0004】 －【0008】欄、図1－2 & US 2007/0080353 A1 & KR 10-0661614 B1	1－11 1－11
Y	JP 2010-504640 A (ソウル オプト デバイス カンパニー リミ テッド) 2010. 02. 12, 【0004】欄 (ファミリーなし)	
Y	JP 2006-128227 A (三菱電線工業株式会社) 2006. 05. 18, 【001 9】－【0044】欄、図1－8 (ファミリーなし)	3, 8
Y	JP 2008-147459 A (昭和電工株式会社) 2008. 06. 26, 【0035】 －【0039】欄、図4, 5 & US 2009/0267109 A & EP 2096684 A1 & WO 2008/072681 A1 & KR 10-2009-0054466 A	3, 8, 11