(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
2018年1月18日(18.01.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/012585 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 33/06 (2010.01) *H01L 33/32* (2010.01)
H01L 21/205 (2006.01) *H01L 33/50* (2010.01)
H01L 33/22 (2010.01) *H01S 5/343* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/025534

(22) 国際出願日： 2017年7月13日(13.07.2017)

(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 2016-138783 2016年7月13日(13.07.2016) JP

(71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5908522 大阪府堺市堺区匠町１番地 Osaka (JP).

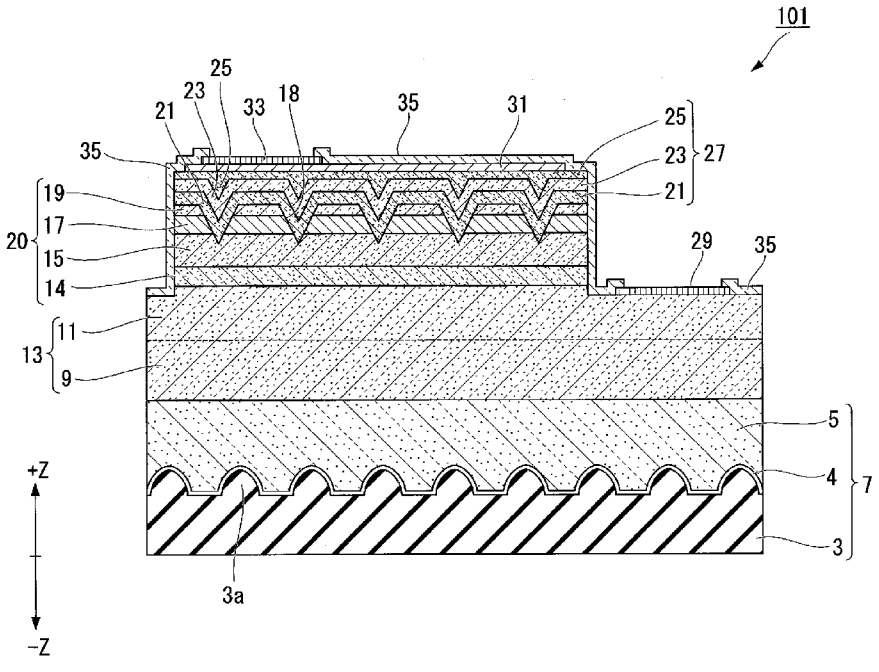
(72) 発明者: 渡部 麻祐子(WATABE Mayuko). 川崎 修(KAWASAKI Osamu).

(74) 代理人: 西澤 和純, 外(NISHIZAWA Kazuyoshi 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, 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, JP, KE, KG, KH,

(54) **Title:** LIGHT EMITTING DIODE AND LIGHT EMITTING DEVICE

(54) 発明の名称： 発光ダイオードおよび発光装置



(57) **Abstract:** Provided is a light emitting diode wherein a nitride semiconductor multilayer film comprises a first nitride semiconductor layer, a second nitride semiconductor layer and a light emitting layer provided between the first nitride semiconductor layer and the second nitride semiconductor layer, a transparent substrate has a protrusion on a surface facing the first nitride semiconductor layer, the light emitting layer comprises, in order from the first nitride semiconductor layer side, a plurality of N quantum well layers (N ≥ 2) from a first quantum well layer, wherein the plurality of

WO 2018/012585 A1

[続葉有]

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

quantum well layers has 2 or more types of quantum well layer for emitting 2 or more types of light having differing main light-emitting peak wavelengths and, among the 2 or more types of quantum well layer, the quantum well layer having the longest main light-emitting peak wavelength is located, in the light emitting layer, at the second layer from the first nitride semiconductor layer side or beyond.

(57) 要約:窒化物半導体多層膜は、第１の窒化物半導体層と、第２の窒化物半導体層と、第１の窒化物半導体層と、第２の窒化物半導体層と、の間に設けられた発光層と、を備え、透明基板は、第１の窒化物半導体層と対向する面に凸部を有しており、発光層は、第１の窒化物半導体層側から順番に、第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層（Ｎ≧２）の複数の量子井戸層を備え、複数の量子井戸層は、主発光ピークの波長が異なる２種類以上の光を射出する２種類以上の量子井戸層を有し、２種類以上の量子井戸層のうち、最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、発光層において、第１の窒化物半導体層側から２層目以降に位置している発光ダイオード。

明　細　書

発明の名称 ： 発光ダイオードおよび発光装置

技術分野

[0001] 本発明の一態様は、発光ダイオードおよび発光装置に関する。

本願は、２０１６年７月１３日に、日本に出願された特願２０１６－１３８７８３号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 窒素を含むＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体材料（以下、「窒化物半導体材料」と呼ぶ）は、赤外領域から紫外領域の波長を有する光のエネルギーに相当するバンドギャップエネルギーを有している。例えば、ＡｌＧａＩｎＮ系の窒化物半導体材料からなる発光ダイオードは、青色等の短波長の光を高効率に発生させる。そのため、この発光ダイオードと、蛍光体等の波長変換物質とを組み合わせることにより、白色光を出射する発光装置を得ることができる。

[0003] ここで、発光ダイオードの効率を評価する指標の１つとして、（外部）量子効率を示す。（外部）量子効率は、発光ダイオードに注入する電子の数に対する発光ダイオードから発せられる光子の数で表される。一方、発光装置の効率を評価する指標の１つとして、発光効率を示す。発光効率（単位：ｌｍ／Ｗ）は、発光装置に投入する電力（単位：Ｗ）に対する発光装置から発せられる光束（単位：ｌｍ）で表される。

[0004] 発光装置の発光効率は、光束が大きいほど、また、駆動電力（電力）が小さいほど高くなる。ここで、光束とは、発光装置から放射された光の明るさを人の目の感度（視感度）を考慮して表した物理量である。視感度は、光の波長によって異なり、５５５ｎｍで最大となり、光束は最大となる。つまり、５５５ｎｍの光を多く含む光を射出する発光装置では、光束が大きくなる。そのため、光束を大きくするには、例えば５５５ｎｍに主発光ピークを有する蛍光体を発光装置に設けることが考えられる。現在主流の白色光（疑似

白色光）を出射する発光装置は、視感度を考慮して青色発光ダイオードと黄色蛍光体とを組み合わせることで高い発光効率を実現している。さらに、量子効率が高い蛍光体を用いることでより発光装置の発光効率を高くすることができる。

[0005] このような発光装置は、蛍光灯に比べて発光効率が優れているため、蛍光灯にかわり、照明装置や液晶表示装置のバックライトとして利用頻度が高まっている。

[0006] さらに近年では、単なる明るさや発光効率に優れるだけでなく、照明装置の用途においては演色性、バックライトの用途においては色再現性に優れた発光装置が求められている。例えば、照明装置に向けては、太陽光に近い発光スペクトルをもつ発光装置や、人の概日リズム応じた発光スペクトル変化をもつ発光装置が好適なものとして挙げられる。また例えば、バックライトに向けては、カラーフィルターの透過波長帯に重なり、半値幅の狭い発光スペクトルもつ発光装置が好適なものとして挙げられる。

[0007] しかしながら、従来知られた疑似白色光の発光効率に優れた発光装置は、演色性が低いことが問題であった。これに対し、緑色光や赤色光を発する蛍光体を用いて演色性を向上させた発光装置は視感度が低くなり、疑似白色光を出射する発光装置に比べて発光効率が低くなることがあった。また、これらの蛍光体は、発光色ごとに最適な励起波長が異なるため、特定の波長領域の光を用いると、蛍光体の種類によっては、蛍光体の量子効率が低くなり、結果として発光装置の発光効率が低くなることがあった。そこで、高い発光効率と、照明用途に好適な演色性とを両立できる発光装置が望まれていた。具体的には、発光ダイオードの量子効率を向上させ、尚且つ、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現できる蛍光体の組み合わせにおいて、各蛍光体を最適な波長で励起できる技術が望まれていた。

[0008] 例えば、特許文献１では、近紫外領域から青色領域（３００～４９０ｎｍ）に主発光ピークをもつ光を射出する発光ダイオードと蛍光体とを含む発光装置が開示されている。特許文献１の発光装置は、蛍光体として、直接遷移

型の異なる発光中心をもつ２種以上の蛍光体が備えられている。

[0009] 特許文献２では、青色発光ダイオードと蛍光体とを含む発光装置が開示されている。青色発光ダイオードの周囲には、４９０～５１０ｎｍおよび５３０～５８０ｎｍに発光ピークを有する蛍光体（緑色蛍光体）と、６１０～６６０ｎｍに発光ピークを有する蛍光体（赤色蛍光体）とが、透明樹脂に混合・分散された状態で設けられている。特許文献２の発光装置は、蛍光体の発光スペクトルのピーク強度において、４９０～５１０ｎｍのピーク強度をＡ、５３０～５８０ｎｍのピーク強度をＢ、６１０～６６０ｎｍのピーク強度をＣとするとき、Ｂ／Ａが０．８～１．２となり、かつＣ／Ａが０．５～１．２となるように構成されている。

[0010] 特許文献３では、発光ダイオードと、発光ダイオードを少なくとも部分的に包囲する、透明材料から成る被覆体とを有する白色光源が開示されている。透明材料には、発光ダイオードから発散された光の波長を少なくとも部分的に変換する変換物質が含まれている。

発光ダイオードは、少なくとも２つの発光領域を有している。これらの発光領域は、その発光スペクトルの極大値がエネルギー的に異なり、変換物質の発光スペクトルの極大値よりも短い波長を有するように形成されている。さらに、これらの発光領域は発光ダイオードのメインの放射方向に相並んで配置され、発光極大値の光エネルギーはメインビーム方向に向かって増大している。

[0011] 特許文献４では、発光ダイオードと、発光ダイオードの上に塗布された少なくとも２種類の蛍光粉とを備えた発光装置が開示されている。発光ダイオードは、２種類の異なる波長λ１とλ２の光を発射できる少なくとも２つの発光層を備えている。蛍光粉は、発光ダイオードの発射する光のうち１種類の波長の光を吸収して別の２種類の波長λ３およびλ４の光を発生している。これらの波長の関係はλ１＜λ２＜λ３＜λ４であり、かつλ２、λ３およびλ４の３種類の波長を混合することにより、白色光が得られる。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特許第５１５１００２号公報

特許文献2：特開２００７－２６６５７９号公報

特許文献3：特許第４６８１１８４号公報

特許文献4：特開２００５－２１７３８６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] しかしながら、特許文献１や特許文献２に記載された発光装置では、単一な発光スペクトルの波長範囲で励起できる蛍光体のみを使うため、演色性が必ずしも十分ではなかった。また、演色性を改善するために、例えば、発光スペクトルの異なる蛍光体を複数含有させると、得られる蛍光が蛍光体により散乱するため、透過率が悪くなる。また、散乱された蛍光が蛍光体に再吸収されるため、発光効率が低下する傾向がある。

[0014] 特許文献３に記載された白色光源では、長波長の光を発光させる井戸層を最初に形成し、その上に短波長の光を発生させる井戸層を形成している。ＡｌＧａＩｎＮ系の窒化物半導体において、長波長の光を発生させる井戸層を形成するには窒化物半導体中のＩｎ比率を高める、若しくは層厚を増大させる厚くする手法がとられている。しかし、この方法では、形成した井戸層の結晶品質が悪くなりやすい。さらに、本来良好な結晶品質になりやすい短波長の光を発生させる井戸層においても結晶品質が悪化し、発光ダイオードの量子効率が低下する傾向がある。

[0015] 特許文献４に記載された発光装置では、量子ウェル層にＩｎＮの結晶を用いているが、ＩｎＮの結晶品質は必ずしも十分ではないために、発光ダイオードの量子効率が低下する傾向がある。

[0016] 本発明の一態様は、かかる点に鑑みてなされてものであり、発光装置の発光効率を向上させ、かつ、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現できる発光ダイオードと、この発光ダイオードを備えた発光装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0017] 本発明の一態様は、透明基板と、透明基板の表面に設けられた窒化物半導体多層膜と、を含む発光ダイオードであって、窒化物半導体多層膜は、第１の窒化物半導体層と、第１の窒化物半導体層に対し、透明基板とは反対側に設けられた第２の窒化物半導体層と、第１の窒化物半導体層と、第２の窒化物半導体層と、の間に設けられた発光層と、を備え、透明基板は、第１の窒化物半導体層と対向する面に凸部を有しており、発光層は、第１の窒化物半導体層側から順番に、第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層（Ｎ≧２）の複数の量子井戸層を備え、複数の量子井戸層は、主発光ピークの波長が異なる２種類以上の光を射出する２種類以上の量子井戸層を有し、２種類以上の量子井戸層のうち、最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、発光層において、第１の窒化物半導体層側から２層目以降に位置している発光ダイオードを提供する。

[0018] 本発明の一態様においては、発光層は、第１の窒化物半導体層から第２の窒化物半導体層の方向に拡がる窪みを有しており、窪みは第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層に渡って設けられ、窪みの内側は、窪みの外側よりも量子井戸層が薄く積層されている構成としてもよい。

[0019] 本発明の一態様においては、２種類以上の量子井戸層のうち、最も短波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、３７０ｎｍ～４８０ｎｍの範囲に主発光ピークを有する構成としてもよい。

[0020] 本発明の一態様においては、２種類以上の量子井戸層のうち、最も短波長の主発光ピークを有する量子井戸層以外は、４３０ｎｍ～５５０ｎｍの範囲に主発光ピークを有する構成としてもよい。

[0021] 本発明の一態様は、上記の発光ダイオードと、発光ダイオードから射出される光の光路上に設けられた波長変換物質と、を備え、波長変換物質は、発光層から射出される複数の光のうち少なくとも１種類の光を吸収して、発光層から射出される光とは異なる波長の光を射出する発光装置を提供する。

[0022] 本発明の一態様においては、波長変換物質は、第１の波長変換物質と、第

２の波長変換物質と、を備え、第１の波長変換物質は、量子井戸層から射出される光を吸収して、量子井戸層から射出される光とは異なる波長の光を射出し、第２の波長変換物質は、量子井戸層よりも長波長の主発光ピークを有する量子井戸層から射出される光を吸収して、長波長の主発光ピークを有する量子井戸層から射出される光とは異なる波長の光を射出する構成としてもよい。

発明の効果

[0023] 本発明の一態様によれば、発光装置の発光効率を向上させ、かつ、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現できる発光ダイオードと、この発光ダイオードを備えた発光装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]本実施形態の発光ダイオードを示す断面図である。

[図2]本実施形態の発光装置を示す断面図である。

[図3]本実施形態の発光ダイオードのエネルギーバンドを示す模式図である。

[図4A]本実施形態のＶピットの機能を示す模式的な第１の断面図である。

[図4B]本実施形態のＶピットの機能を示す模式的な第２の断面図である。

[図4C]本実施形態のＶピットの機能を示す模式的な第３の断面図である。

[図5A]実施例１の発光装置の発光スペクトルの一例である。

[図5B]実施例１の液晶表示装置のバックライトに使用されるカラーフィルターの透過スペクトルの一例である。

[図6]実施例２の発光装置の発光スペクトルである。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本発明の実施形態の発光装置の実施形態について図面を用いて説明する。なお、本発明の実施形態の図面において、同一の参照符号は、同一部分又は相当部分を表すものである。また、長さ、幅、厚さ、深さ等の寸法関係は図面の明瞭化と簡略化のために適宜変更されており、実際の寸法関係を表すものではない。さらに、各部材の位置関係を説明する際に、単に「上」というときには、図１において「＋Ｚ方向」であることを意味する。同様に

、単に「下」というときには、図１において「－Ｚ方向」であることを意味する。

[0026] ＜発光ダイオード＞

図１は、本実施形態の発光ダイオード１０１を示す断面図である。図１に示すように、発光ダイオード１０１は、透明基板３と、透明基板３の表面に設けられた窒化物半導体多層膜と、を含む。換言すると、発光ダイオード１０１は、基板部７と、ｎ型窒化物半導体層１３と、ｐ型窒化物半導体層２７とを備えている。なお、本実施形態では、特許請求の範囲における第１の窒化物半導体層をｎ型窒化物半導体層、第２の窒化物半導体層をｐ型窒化物半導体層として説明する。

[0027] ｎ型窒化物半導体層１３とｐ型窒化物半導体層２７との間には、機能層２０が設けられている。換言すると、基板部７、ｎ型窒化物半導体層１３、機能層２０、ｐ型窒化物半導体層２７がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層されている。また、本実施形態において、ｎ型窒化物半導体層１３と、機能層２０と、ｐ型窒化物半導体層２７とを合わせた構成を窒化物半導体多層膜とする。

[0028] 図１に示す発光ダイオード１０１の断面図おいて、基板部７、ｎ型窒化物半導体層１３は同じ幅になるように設けられ、機能層２０は、ｎ型窒化物半導体層１３よりも面積が狭くなるように設けられている。また、ｐ型窒化物半導体層２７は、機能層２０と同じ面積になるように設けられている。すなわち、ｎ型窒化物半導体層１３の上面（機能層２０側の面）が一部露出している。

[0029] ｐ型窒化物半導体層２７の表面には、透明電極３１を介して、ｐ側電極３３が設けられている。一方、ｎ型窒化物半導体層１３の露出した部分には、ｎ側電極２９が設けられている。

[0030] また、ｎ型窒化物半導体層１３、機能層２０、ｐ型窒化物半導体層２７、透明電極３１の上面または側面もしくはその両方において、ｐ側電極３３およびｎ側電極２９の露出面以外を覆うように、透明保護膜３５が設けられて

いる。

[0031] 基板部７は、透明基板３と、下地層５とを備えている。透明基板３と下地層５の間には、バッファ層４が設けられている。換言すると、基板部７においては、透明基板３、バッファ層４、下地層５がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層されている。

[0032] ｎ型窒化物半導体層１３は、第１のｎ型窒化物半導体層９と、第２のｎ型窒化物半導体層１１とを備えている。第１のｎ型窒化物半導体層９、第２のｎ型窒化物半導体層１１がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層された構造を有している。

[0033] 機能層２０は、Ｖピット発生層１４と、超格子層１５と、発光層１７と、アンドープ層１９とを備えている。換言すると、機能層２０においては、Ｖピット発生層１４、超格子層１５、発光層１７、アンドープ層１９がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層されている。

[0034] ｐ型窒化物半導体層２７は、第１のｐ型窒化物半導体層２１と、第２のｐ型窒化物半導体層２３と、第３のｐ型窒化物半導体層２５とを備えている。換言すると、ｐ型窒化物半導体層２７においては、第１のｐ型窒化物半導体層２１、第２のｐ型窒化物半導体層２３、第３のｐ型窒化物半導体層２５とがこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層されている。

[0035] 以下、図１に基づき、発光ダイオード１０１の構成について詳細に説明する。なお、図１は、ｎ型ドーパントおよびｐ型ドーパントを省略して図示している。

[0036] ［基板部］

図１において、基板部７は、発光ダイオード１０１の最下部に設けられている。基板部７は、透明基板３、バッファ層４および下地層５から構成されている。

[0037] （透明基板）

図１に示す透明基板３は、後述する発光層１７から射出された光を透過する機能をもつ。そのため、透明基板３は、可視領域から紫外領域の波長をも

つ光に対して透過性を有することが好ましい。透明基板３としては、例えば、サファイア基板等の絶縁性基板や、ＧａＮ基板、ＳｉＣ基板またはＺｎＯ基板等の導電性基板が挙げられる。

[0038] また、透明基板３の厚さは、６０μｍ以上３００μｍ以下が好ましい。透明基板３の厚さが６０μｍより小さいと、製造段階で取り扱いにくい上に、歩留りが悪くなる傾向がある。また、透明基板３の厚さが３００μｍより大きいと、裁断などの加工がしにくく、歩留りが悪くなる傾向がある。

[0039] 透明基板３は、ｎ型窒化物半導体層１３と対向する面に、凸部３ａを有していることが好ましい。凸部３ａは、屈折率の大きいｎ型窒化物半導体層１３から、屈折率の小さい透明基板３に光が進入したときに、少なくとも一部の光がｎ型窒化物半導体層１３と透明基板３の界面で反射するのを抑制する機能をもつ。特に、短波長の光の一部は、発光層１７で吸収されてしまうため、発光ダイオード１０１の量子効率および演色性を向上させるためには短波長の光の反射を極力少なくすることが好ましい。したがって、凸部３ａによって、透明基板３の端面から効率よく光を取り出すことができ、量子効率および演色性を向上させることができる。

[0040]（バッファ層）

図１に示すバッファ層４は、透明基板３に、異なる格子定数をもつ層を複数形成する際に、凸部３ａに起因する転位を抑制するように機能する。特に、発光層１７は、発光波長領域の異なる２種類以上の光を射出する層で構成されるため、転位が起こりやすいが、バッファ層４を有することで、発光層１７の転位が抑えられ、良質な結晶を得ることができる。

[0041] バッファ層４としては、例えば、Al_sGa_tN（０≦ｓ≦１、０≦ｔ≦１、ｓ＋ｔ＝１）結晶、ＡｌＮ結晶またはＡｌＯＮ結晶が好ましく、ＡｌＮ結晶またはＡｌＯＮ結晶がより好ましく、ＡｌＯＮ結晶がさらに好ましい。また、ＡｌＯＮ結晶中の窒素原子の０．２～５モル％が酸素原子に置き換えられていると、例えば、スパッタ法でバッファ層４を形成したときに、透明基板３の成長面の法線方向に向かってＡｌＯＮ結晶が成長し、ほぼ等しい結晶

粒径をもつ柱状結晶の集合体としてバッファ層４が得られるため、特に好ましい。

[0042] バッファ層４の厚さは、５ｎｍ以上１００ｎｍ以下が好ましく、１０ｎｍ以上５０ｎｍ以下がより好ましい。

[0043] 透明基板３の上面に、スパッタ法または蒸着法（ＣＶＤ、ＰＶＤ）により形成されることが好ましく、スパッタ法で形成されることがより好ましい。

[0044]（下地層）

図１に示す下地層５は、ｎ型窒化物半導体層１３の下面に対向する面を平坦にする機能と、ｎ型窒化物半導体層１３の下面に対向する面の転位密度を低下させる機能をもつ。

[0045] また、下地層５は、貫通転位を抑制する機能をもつ。この機能のためには、下地層５は、３層構造であることが好ましい。すなわち、バッファ層４の上面に、第１の下地層、第２の下地層、第３下地層がこの順で図１の＋Ｚ方向に積層されていることが好ましい（図示なし）。

[0046] ここで、下地層５の３層構造が貫通電位を抑制する機構について詳細に説明する。第１の下地層の上面に、第２の下地層を形成するときに、透明基板３の温度を低くすると、第２の下地層は３次元方向に成長し、ファセット面が形成される（図示なし）。さらに、第２の下地層の上面に、第３の下地層を形成するときに、透明基板３の温度を高くすると、第３の下地層は横方向に成長し、第３の下地層の上面、すなわち下地層５の上面が平坦になる。上述の方法で第１～第３の下地層を形成すれば、転位が第２の下地層に形成されたファセット面で折れ曲がるので、貫通転位を抑制することができる。

以上のように、下地層５の３層構造は貫通電位を抑制することができるが、上述の方法で第１～第３の下地層を形成する場合、第１～第３の下地層はｎ型ドーパントを含んでいないことが好ましい。

[0047] 下地層５は、上述したバッファ層４と併用することにより、Ｘ線半値幅が狭く、結晶軸が揃った層として得ることができる。

[0048] 下地層５としては、例えば、$Al_iGa_jIn_kN$（０≦ｉ≦１、０≦ｊ≦１

、０≦ｋ≦１、ｉ＋ｊ＋ｋ＝１）結晶が好ましく、$AlGaN$（０≦ｉ≦１）結晶がより好ましくい。さらに、下地層５がＧａＮ結晶で形成されることにより、バッファ層４中の転位等の結晶欠陥がバッファ層４と下地層５との界面近傍でループされ易くなり、結晶欠陥がバッファ層４から下地層５へ引き継がれることを抑制できるため、好ましい。

[0049] 下地層５の厚さは、１μｍ以上１２μｍ以下が好ましい。

[0050] ［ｎ型窒化物半導体層］

図１において、ｎ型窒化物半導体層１３は、基板部７の上方に設けられている。ｎ型窒化物半導体層１３は、発光層１７に電子を注入する機能をもつ。ｎ型窒化物半導体層１３としては、例えば、$Al_{a2}Ga_{b2}In_{c2}N$（０≦ａ２≦１、０≦ｂ２≦１、０≦ｃ２≦１、ａ２＋ｂ２＋ｃ２＝１）にｎ型ドーパントをドープさせた結晶が好ましく、$Al_{a2}Ga_{1-a2}N$（０≦ａ２≦１）にｎ型ドーパントをドープさせた結晶がより好ましく、$Al_{a2}Ga_{1-a2}N$（０≦ａ２≦０．５）にｎ型ドーパントをドープさせた結晶がさらに好ましく、$Al_{a2}Ga_{1-a2}N$（０≦ａ２≦０．１）にｎ型ドーパントをドープさせた結晶が特に好ましい。

[0051] ｎ型ドーパントとしては、例えば、シリコン、リン、ヒ素またはアンチモン等が好ましく、シリコンがより好ましい。ｎ型窒化物半導体層１３中のｎ型ドーパント濃度は変化していてもよく、平均して$1\times10^{18}cm^{-3}$以上$2\times10^{19}cm^{-3}$以下であることが好ましい。ｎ型ドーパント濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$以上であることにより、抵抗が維持され、駆動電圧の上昇が抑制される。また、ｎ型ドーパント濃度が$2\times10^{19}cm^{-3}$以下であることにより、ｎ型窒化物半導体層１３の表面が平坦になることに加え、ｎ型窒化物半導体層１３上に設けられた発光層１７の表面も平坦になるため、発光ダイオード１０１の量子効率の低下が抑制される。

[0052] ただし、ｎ型窒化物半導体層１３の一部において、ｎ型ドーパント濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$より低くてもよく、他の部分において、$2\times10^{19}cm^{-3}$より高くてもよい。上述の場合には、ｎ型ドーパント濃度の平均値が$1\times10^{18}c$

m^{-3}以上２×１０^{19}ｃm^{-3}以下であることが好ましい。

[0053] ｎ型窒化物半導体層１３の厚さは、例えば、０．５μｍ以上１０μｍ以下が好ましい。

ｎ型窒化物半導体層１３の厚さが０．５μｍ以上であることにより、高抵抗化を抑制することができる。また、ｎ型窒化物半導体層１３の厚さが１０μｍ以下であることにより、発光ダイオード１０１の反りを抑制し、歩留りが向上する傾向がある。

[0054] ｎ型窒化物半導体層１３は、単層であってもよいし、厚さまたはｎ型ドーパント濃度、あるいはその両方が異なる複数の層を有していてもよい。図１においては、ｎ型窒化物半導体層１３は、第１のｎ型窒化物半導体層９、第２のｎ型窒化物半導体層１１がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層された構造を有している。例えば、第２のｎ型窒化物半導体層１１は、第１のｎ型窒化物半導体層９よりもｎ型ドーパントが多くドープされていると、発光ダイオード１０１の静電破壊を抑制することができるので好ましい。

[0055] ［機能層］

図１において、機能層２０は、ｎ型窒化物半導体層１３とｐ型窒化物半導体層２７との間に設けられている。機能層２０は、Ｖピット発生層１４、超格子層１５、発光層１７およびアンドープ層１９から構成されている。

[0056] （Ｖピット発生層）

図１に示すＶピット発生層１４は、後述する超格子層１５とともに、転位を利用して発光層１７にＶピット１８を形成するためのものである。Ｖピット１８の機能や発生条件（成長温度、キャリアガス）は後に詳細を説明する。Ｖピット発生層１４としては、$Al_dGa_eIn_fN$（０≦ｄ≦１、０≦ｅ≦１、０≦ｆ≦１、ｄ＋ｅ＋ｆ＝１）結晶または$Al_dGa_eIn_fN$（０≦ｄ≦１、０≦ｅ≦１、０≦ｆ≦１、ｄ＋ｅ＋ｆ＝１）にｎ型ドーパントをドープさせた結晶である。

[0057] Ｖピット発生層１４の厚さは、１０ｎｍ以上３００ｎｍ以下が好ましい。Ｖピット発生層１４の厚さが１０ｎｍ以上であることにより、発光層１７に

所望の大きさのＶピット１８を形成することができる。また、Ｖピット発生層１４の厚さが３００ｎｍ以下であることにより、Ｖピット１８の成長速度の低下、成長時間の長期化および製造コストの上昇を抑制することができる。

[0058] Ｖピット発生層１４を形成する工程においては、Ｖピット発生層１４は隣接する他の層と区別可能である。しかし、Ｖピット発生層１４の機能を損なわない範囲において、Ｖピット発生層１４は、後の工程で隣接する他の層と区別がつかなくなってもよい。

[0059] （超格子層）

図１に示す超格子層１５は、格子定数の差に起因する結晶欠陥を緩和するための緩衝層として機能する。上述した下地層５およびｎ型窒化物半導体層１３は、後述する発光層１７と格子定数が大きく異なることから、ｎ型窒化物半導体層１３の表面に発光層１７を形成すると、結晶欠陥が導入されやすい。そこで、発光層１７の下面に超格子層１５を設けることで結晶欠陥の導入を抑制している。なお、「超格子層」という名称に含まれる「超格子」とは、異なる結晶格子をもつ層を複数重ね合わせることにより、その周期構造が基本単位格子よりも長くなった結晶格子を意味する。

[0060] 超格子層１５の厚さは、３０ｎｍ以上５００ｎｍ以下が好ましい。超格子層１５の厚さが３０ｎｍ以上であることにより、所望の大きさおよび面密度のＶピット１８を形成できる。また、超格子層１５の厚さが５００ｎｍ以下であることにより、Ｖピット１８が大きくなり過ぎない。したがって、発光層１７が平坦になりやすく、発光ダイオード１０１から射出される光が増加する。

[0061] 図３は、本実施形態の発光ダイオードのエネルギーバンドを示す模式図である。図３に示すように、超格子層１５は、第１の超格子層１５Ａと第２の超格子層１５Ｂとが交互に設けられた積層体であり、その周期構造が第１の超格子層１５Ａの基本単位格子や、第２の超格子層１５Ｂの基本単位格子よりも長くなっている。

[0062] 第１の超格子層１５Ａとしては、$Al_{a3}Ga_{b3}In_{c3}N$（０≦ａ３≦１、０≦ｂ３≦１、０≦ｃ３≦１、ａ３＋ｂ３＋ｃ３＝１）にｎ型ドーパントをドープさせた結晶が好ましく、ＧａＮにｎ型ドーパントをドープさせた結晶がより好ましい。第１の超格子層１５Ａは、ｎ型窒化物半導体層１３の成長温度よりも低い温度で、ｎ型窒化物半導体層１３よりも高濃度のｎ型ドーパントがドープされている。第１の超格子層１５Ａ中のｎ型ドーパント濃度は、$１×１０^{18}ｃｍ^{-3}$以上$５×１０^{19}ｃｍ^{-3}$以下が好ましい。

[0063] 第１の超格子層１５Ａの厚さは、例えば、０．５ｎｍ以上５０ｎｍ以下が好ましい。第１の超格子層１５Ａの厚さが０．５ｎｍ以上であることにより、第１の超格子層１５Ａの１原子層の厚さ以上となるので、均一な厚さの第１の超格子層１５Ａを形成できる。したがって、発光層１７の結晶品質を高めることができ、発光ダイオード１０１の量子効率を高めることができる。また、第１の超格子層１５Ａの厚さが５０ｎｍ以下であることにより、第１の超格子層１５Ａが平坦になりやすい。したがって、発光層１７の結晶品質を高めることができ、発光ダイオード１０１の量子効率を高めることができる。

[0064] 第２の超格子層１５Ｂは、第１の超格子層１５Ａよりも大きなバンドギャップエネルギーを有していることが好ましい。第２の超格子層１５Ｂとしては、例えば、$Al_{a4}Ga_{b4}In_{c4}N$（０≦ａ４≦１、０≦ｂ４≦１、０≦ｃ４≦１、ａ４＋ｂ４＋ｃ４＝１）結晶が好ましく、$Ga_{b4}In_{c4}N$（０≦ｂ４≦１、０≦ｃ４≦１、ｂ４＋ｃ４＝１）結晶がより好ましい。また、第２の超格子層１５Ｂは、上述した結晶中に、ｎ型ドーパントを含んでいても良い。

[0065] 第２の超格子層１５Ｂの厚さは、例えば、０．５ｎｍ以上５０ｎｍ以下が好ましい。第２の超格子層１５Ｂの厚さが０．５ｎｍ以上であることにより、第２の超格子層１５Ｂの１原子層の厚さ以上となるので、均一な厚さの第２の超格子層１５Ｂを形成できる。したがって、発光層１７の結晶品質を高めることができ、発光ダイオード１０１の量子効率を高めることができる。第２の超格子層１５Ｂの厚さが５０ｎｍ以下であることにより、第２の超格

子層１５Ｂの成長にかかる時間が長過ぎないので、発光ダイオード１０１の生産性を維持できる。

[0066] １つの第１の超格子層１５Ａと、１つの第２の超格子層１５Ｂとを合わせた厚さは、例えば、１ｎｍ以上６０ｎｍ以下が好ましい。超格子層１５の厚さが上述の範囲を満たすように、第１の超格子層１５Ａ及び第２の超格子層１５Ｂの層数を決定することが好ましい。

[0067] 超格子層１５は、第１の超格子層１５Ａおよび第２の超格子層１５Ｂと異なる半導体層が含まれていてもよい。

[0068]（発光層）

図１に示す発光層１７は、主発光ピークの波長が異なる複数の波長の光を射出する機能をもつ。発光層１７は、複数の量子井戸層１と、複数の障壁層２とを有している。具体的には、発光層１７は、量子井戸層１と障壁層２とが交互に設けられた積層体であり、２つの障壁層２の間には１つの量子井戸層１が設けられている。このような構造を多重量子井戸構造という。また、超格子層１５の上面と接する面と、アンドープ層１９の上面と接する面には障壁層２が設けられている。換言すると、発光層１７の最上面と最下面には、障壁層２が設けられている。

[0069] 発光層１７は、ｎ型窒化物半導体層１３側から順番に、第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層（Ｎ≧２）の複数の量子井戸層１を備えている。さらに、複数の量子井戸層１は、主発光ピークの波長が異なる２種類以上の光を射出する２種類以上の量子井戸層を有している。そして、２種類以上の量子井戸層のうち、最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、発光層１７において、ｎ型窒化物半導体層１３側から２層目以降に位置している。以下の説明では、最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層を量子井戸層１Ｂと表し、それを除いた第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層を量子井戸層１Ａと表すこととする。本明細書において、複数の量子井戸層１というときには、量子井戸層１Ａおよび量子井戸層１Ｂの両方を表している。

[0070] また、量子井戸層１Ａと隣接する障壁層２Ａ（後述）とが交互に設けられ

ている積層体は、量子井戸層１Ｂに対して、上述した超格子層１５のように格子定数の差に起因する結晶欠陥を緩和するための緩衝層として機能する。そのため、量子井戸層１Ｂの結晶品質を向上させ、発光強度を向上させることができる。

[0071] 量子井戸層１では、注入された電子とホールとが再結合し、バンドギャップに応じた光が射出される。本実施形態では、２種類以上の量子井戸層のうち、最も短波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、３７０ｎｍ～４８０ｎｍの範囲に主発光ピークを有する。また、２種類以上の量子井戸層のうち、最も短波長の主発光ピークを有する量子井戸層以外は、４３０ｎｍ～５５０ｎｍの範囲に主発光ピークを有する。

このように、発光ダイオード１０１は、主発光ピークの波長が異なる２種類以上の光を射出することができる。そのため、発光ダイオード１０１を発光装置に適用する場合、複数の波長変換物質（後述）に適した励起波長で励起させることができるので、結果として、発光装置の色再現性を向上させることができる。

[0072] 量子井戸層１としては、例えば、$Al_vGa_wIn_xN$（０≦ｖ＜１、０≦ｗ≦１、０≦ｘ≦１、ｖ+ｗ+ｘ＝１）結晶が好ましい。また、量子井戸層１はｎ型ドーパントを含んでいないことがより好ましい。量子井戸層１がｎ型ドーパントを含んでいないことにより、発光層１７は、平坦かつ良質な結晶になりやすく、発光ダイオード１０１の量子効率が向上する傾向がある。

[0073] 量子井戸層１の厚さは、例えば、２ｎｍ以上１５ｎｍ以下が好ましい。量子井戸層１の厚さが上述の範囲内であることにより、発光ダイオード１０１の量子効率を向上させるだけでなく、駆動電圧の上昇を抑制することができる。

[0074] 本実施形態において、量子井戸層１の厚さおよび組成は、所望の発光波長に合わせて決められる。

[0075] 量子井戸層１Ａが複数設けられている場合には、量子井戸層１Ａの厚さは互いに同じであってもよく、異なっていてもよい。同様に、量子井戸層１Ｂ

が複数設けられている場合には、量子井戸層１Ｂの厚さは互いに同じであってもよく、異なっていてもよい。

[0076] 量子井戸層１の層数は、例えば、２つ以上が好ましく、４つ以上がより好ましい。また、量子井戸層１Ｂの層数は量子井戸層１Ａの層数よりも少ないことが好ましい。量子井戸層１Ｂの層数が量子井戸層１Ａの層数よりも少ないことにより、量子井戸層１Ｂ上に設けられた層の結晶品質が向上するため、発光ダイオード１０１の量子効率を向上させ、駆動電圧の上昇を抑制できる傾向がある。

[0077] 量子井戸層１Ｂは、少なくとも１層以上設けられた量子井戸層１Ａ上に形成されている。量子井戸層１Ａは、量子井戸層１Ｂよりも薄く、結晶中に含まれているＩｎ濃度が低いことから、良質な結晶が得られやすい。そのため、量子井戸層１Ａ上に量子井戸層１Ｂを形成することで、量子井戸層１Ｂの結晶品質が向上し、発光強度の低下を抑制することができる。

[0078] 障壁層２は、注入された電子やホールを上述した量子井戸層１中に閉じ込める機能をもつ。図３に示すように、量子井戸層１Ａに隣接する障壁層を「障壁層２Ａ」と呼び、障壁層２Ａ以外を障壁層２Ｂと呼ぶ。すなわち、障壁層２は障壁層２Ａと、障壁層２Ｂとからなり、単に障壁層２というときには、障壁層２Ａおよび障壁層２Ｂの両方を指す。

[0079] 障壁層２としては、$Al_yGa_zIn_{(1-y-z)}N$（０≦ｙ＜１、０＜ｚ≦１）結晶が好ましい。また、障壁層２は、量子井戸層１よりも大きなバンドギャップエネルギーを有する限りにおいて、上述した結晶に、ｎ型ドーパントまたはｐ型ドーパントがドープされていてもよい。

[0080] 障壁層２の厚さは、例えば、１．５ｎｍ以上５０ｎｍ以下が好ましく、１．５ｎｍ以上２０ｎｍ以下がより好ましい。障壁層の厚さが１．５ｎｍ以上であることにより、障壁層２は、平坦かつ良質な結晶になりやすく、発光ダイオード１０１の量子効率が向上する傾向がある。また、障壁層２の厚さが５０ｎｍ以下であることにより、発光層１７へ注入されたキャリアが発光層１７内で拡散されるため、発光ダイオード１０１の量子効率を向上させるだ

けでなく、駆動電圧の上昇を抑制することができる。

[0081] さらに、障壁層２の厚さは互いに同じであってもよく、異なっていてもよい。

[0082] （Ｖピット）

図１に示す発光層１７は、ｎ型窒化物半導体層１３からｐ型窒化物半導体層２７の方向に拡がる窪み（以下、「Ｖピット」と呼ぶ）１８を有していることが好ましい。図４Ａ～図４Ｃに、Ｖピット１８の機能を示す模式的な第１～第３の断面図を示す。図４Ａに示すように、量子井戸層１と障壁層２が、Ｖピット１８の位置で折れ曲がり、Ｖピット１８の内側は、Ｖピット１８の外側よりも量子井戸層１と障壁層２が薄く積層されている。ここで、量子井戸層１と障壁層２とが薄く積層されているＶピット１８の内側を領域Ｉと呼び、領域Ｉよりも厚く積層されているＶピット１８の外側を領域ＩＩと呼ぶ。なお、Ｖピット１８の「外側」とは、量子井戸層１および障壁層２が隣接する他の層と略平行に積層された、Ｖピット１８の周辺部分をいう。また、Ｖピット１８の「内側」とは、上述したＶピット１８の周辺部分よりも低くなっている部分をいう。

[0083] Ｖピット１８の機能について、図４Ｂをもとに説明する。電子は、有効質量が小さく、移動度が大きいため、領域Ｉおよび領域ＩＩにおいて、容易に量子井戸層１を構成する層の間を移動することができる。一方、ホールは、有効質量が大きく、移動度が小さいため、領域ＩＩでは、ｐ型窒化物半導体層２７側の量子井戸層１Ｂ付近までしか移動できず、ｎ型窒化物半導体層１３側の量子井戸層１Ａから十分な発光が得られないことがある。これに対し、領域ＩＩよりも量子井戸層１と障壁層２とが薄く積層された領域Ｉでは、ミニバンドが形成されるため、ホールが量子井戸層１を構成する層の間をトンネリングしやすくなっている。そのため、Ｖピット１８の斜面から量子井戸層１を構成する各層に注入することができる。

[0084] 上述した原理で、電子およびホールが移動することにより、発光ダイオード１０１の駆動電流密度の違いが、発光特性に与える影響を抑えることがで

きる。例えば、発光ダイオード１０１の駆動電流密度を５Ａ／ｃｍ^2～５０Ａ／ｃｍ^{2}の間に設定し発光スペクトルを測定した場合、発光層１７から射出される複数の光の主発光ピークの最大値と最小値の比を１０％以内に抑えることができる。

[0085] Ｖピット１８の大きさは、発光層１７の厚さによって異なる。例えば、図４Ｃに示すように、量子井戸層１を構成する層の一部にＶピット１８が形成されていないときには、その層へはホールが注入されにくく、発光強度が低下しやすい傾向がある。そのため、Ｖピット１８は、量子井戸層１を構成する第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層に渡って設けられていることが好ましい。

[0086] 本実施形態において、上述した超格子層１５の成長条件、厚さおよび組成を変更することで、所望の大きさのＶピット１８を形成することができる。例えば、超格子層１５の成長温度は、下地層５の成長温度より１００℃以上低い温度であることが好ましい。また、キャリアガス（原料運搬ガスであって、窒化物半導体の構成要素にはならないガス）としては、例えば、窒素を用いることが好ましい。さらに例えば、第１の超格子層１５Ａと第２の超格子層１５Ｂの厚さの比率を変えることで、Ｖピット１８の大きさを変えることができる。

[0087] 本実施形態において、Ｖピット１８は後述するｐ型窒化物半導体層２７によって埋め込まれる。Ｖピット１８がｐ型窒化物半導体層２７によって埋め込まれることにより、Ｖピット１８に電流が過剰に集中するのを抑制し、発光ダイオード１０１の電極剥離、劣化および静電破壊を抑制することができる。

[0088] また、貫通転位の位置でＶピット１８が形成される場合、貫通転位はＶピット１８よりも上の層（図１の＋Ｚ方向に形成される層）に伝搬しにくい。そのため、最終的に電極を形成するｐ型窒化物半導体層２７の表面に露出する貫通電位を低減し、発光ダイオード１０１の信頼性を向上させることができる。

[0089] （アンドープ層）

図１に示すアンドープ層１９は、発光層１７とｐ型窒化物半導体層２７との間に設けられている。具体的には、図３に示すように、障壁層２Ｂおよびｐ型窒化物半導体層２７に接するように設けられている。

[0090] アンドープ層１９は、注入された電子のオーバーフローを抑制するとともに、ｐ型ドーパントの拡散を抑制し、発光ダイオード１０１の温度特性を向上させる機能をもつ。そのため、アンドープ層１９は、隣接する障壁層２Ｂよりも大きなバンドギャップエネルギーを有している。

[0091] アンドープ層１９は、$Al_{s1}Ga_{t1}In_{u1}N$（$0<s1<1$、$0<t1<1$、$0\leqq u1<1$、$s+t+u=1$）結晶からなる。アンドープ層１９の好ましい例としては、$Al_{s1}Ga_{t1}In_{u1}N$（$0<s1\leqq 0.4$、$0.6\leqq t1\leqq 1$、$0\leqq u1\leqq 0.1$、$s1+t1+u1=1$）結晶であり、$Al_{s1}Ga_{t1}In_{u1}N$（$0.1\leqq s1\leqq 0.3$、$0.7\leqq t1\leqq 0.9$、$0\leqq u1\leqq 0.1$、$s1+t1+u1=1$）結晶がより好ましい。アンドープ層１９に含まれるＡｌの割合が上述の範囲であることにより、ｐ型ドーパントの拡散を抑制する効果と、駆動電圧の上昇を抑制する効果との両方が得られる。

[0092] なお、アンドープ層１９は、ｎ型ドーパントおよびｐ型ドーパントを意図的にドープさせていない層を意味するが、拡散によってアンドープ層１９中にｎ型ドーパントまたはｐ型ドーパントが意図せず含まれていてもよい。

[0093] アンドープ層１９の厚さは、アンドープ層１９の上面に設けられるｐ型窒化物半導体層２７中のｐ型ドーパント濃度によって制限され、例えば、１ｎｍ以上５０ｎｍ以下が好ましく、２ｎｍ以上３０ｎｍ以下がより好ましい。アンドープ層１９の厚さが１ｎｍ以上であることにより、ｐ型ドーパントの拡散距離が短くなって拡散を抑制できるので、発光ダイオード１０１の温度特性を向上させることができる。そのため、発光層１７近傍の温度上昇が、発光ダイオード１０１の発光特性に与える影響を抑えることができる。例えば、発光層１７近傍が２５℃から１５０℃まで上昇しても、発光層１７から射出される複数の光に対するピーク強度の低下を１０％以内に抑えることが

できる。また、アンドープ層１９の厚さが５０ｎｍ以下であることにより、発光ダイオード１０１の駆動電圧の上昇を抑制することができる。

[0094] ［ｐ型窒化物半導体層］

図１において、ｐ型窒化物半導体層２７は、ｎ型窒化物半導体層１３に対し、基板部７とは反対側に設けられている。ｐ型窒化物半導体層２７は、発光層１７にホールを注入する機能をもつ。ｐ型窒化物半導体層２７としては、$Al_xGa_yIn_zN$（０≦ｘ＜１、０＜ｙ＜１、０≦ｚ＜１、ｘ＋ｙ＋ｚ＝１）にｐ型ドーパントをドープさせた結晶が好ましく、$Al_xGa_{1-x}N$（０≦ｘ≦０．４）にｐ型ドーパントをドープさせた結晶がより好ましい。

[0095] ｐ型ドーパントとしては、例えば、マグネシウムが好ましい。ｐ型窒化物半導体層２７中のｐ型ドーパント濃度は、$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$以上$２\times１０^{20}ｃｍ^{-3}$以下でが好ましい。

ｐ型ドーパントがマグネシウムであることにより、上述したＶピット１８の斜面の成長速度を速くすることができ、Ｖピット１８を容易に埋め込むことができる。また、同様の目的で、キャリアガスとして水素を用いることが好ましい。

[0096] ｐ型窒化物半導体層２７の厚さは、３０ｎｍ以上が好ましい。ｐ型窒化物半導体層２７の厚さが３０ｎｍ以上であることにより、上述したＶピット１８を埋め込むことができ、ｐ型窒化物半導体層２７の表面を平坦にすることができる。

[0097] また、ｐ型窒化物半導体層２７は、厚さ、ｐ型窒化物半導体層２７中のｐ型ドーパント濃度および組成のうち少なくとも１つが異なる３層構造を有していることが好ましい。すなわち、ｐ型半導体層は、第１のｐ型窒化物半導体層２１、第２のｐ型窒化物半導体層２３、第３のｐ型窒化物半導体層２５がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層された構造であることが好ましい。

[0098] 以下、本実施形態の第１のｐ型窒化物半導体層２１、第２のｐ型窒化物半導体層２３および第３のｐ型窒化物半導体層２５について、具体例を挙げて

説明する。

[0099] 第１のｐ型窒化物半導体層２１としては、上述したｐ型窒化物半導体層２７で用いられる材料にｐ型ドーパントをドープさせた結晶が好ましく、$Al_{a5}Ga_{1-a5}N$（０＜ａ５≦０．４、更に好ましくは０．１≦ａ５≦０．３）にｐ型ドーパントをドープさせた結晶がより好ましい。このとき、ｐ型ドーパントとして、マグネシウムが、第１のｐ型窒化物半導体層２１中に$８\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$以上$１\times１０^{20}ｃｍ^{-3}$以下含まれていることが好ましい。上述の第１のｐ型窒化物半導体層２１の厚さは、３ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることが好ましく、５ｎｍ以上３０ｎｍ以下であることが好ましい。

[0100] また、第１のｐ型窒化物半導体層２１の上面に接するように設けられた第２のｐ型窒化物半導体層２３としては、上述したｐ型窒化物半導体層２７で用いられる材料にｐ型ドーパントをドープさせた結晶が好ましく、ＧａＮにｐ型ドーパントをドープさせた結晶がより好ましい。このとき、ｐ型ドーパントとして、マグネシウムが、第２のｐ型窒化物半導体層２３中に$８\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$以上$１\times１０^{20}ｃｍ^{-3}$以下含まれていることが好ましい。

第２のｐ型窒化物半導体層２３の厚さは、３ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることが好ましい。第１のｐ型窒化物半導体層２１および第２のｐ型窒化物半導体層２３が上述のような構成であることにより、発光層１７へ注入されるホールを多くすることができるので、発光ダイオード１０１の量子効率をさらに高めることができる。

[0101] さらに、第２のｐ型窒化物半導体層２３の上面に接するように設けられた第３のｐ型窒化物半導体層２５としては、上述したｐ型窒化物半導体層２７で用いられる材料にｐ型ドーパントをドープさせた結晶が好ましく、ＧａＮにｐ型ドーパントをドープさせた結晶がより好ましい。このとき、ｐ型ドーパントとして、マグネシウムが、第２のｐ型窒化物半導体層２３よりも多く、第３のｐ型窒化物半導体層２５中に含まれていることが好ましい。第３のｐ型窒化物半導体層２５の厚さは、３ｎｍ以上２００ｎｍ以下が好ましい。第２のｐ型窒化物半導体層２３および第３のｐ型窒化物半導体層２５が上述

のような構成であることにより、第３のｐ型窒化物半導体層２５と、第３のｐ型窒化物半導体層２５の上面に接したｐ側電極３３との接触抵抗を抑えることができる。また、ｐ型ドーパントが発光層１７へ拡散するのを抑制することができる。

[0102] ［透明電極］

図１に示す透明電極３１は、例えば、ＩＴＯ（Ｉｎｄｉｕｍ　Ｔｉｎ　Ｏｘｉｄｅ）またはＩＺＯ（Ｉｎｄｉｕｍ　Ｚｉｎｃ　Ｏｘｉｄｅ）等からなることが好ましい。また、透明電極３１の厚さは、５０ｎｍ以上５００ｎｍ以下が好ましい。なお、透明電極３１の代わりに、アルミニウムまたは銀等からなる反射電極が設けられていてもよい。

[0103] ［ｎ側電極、ｐ側電極］

図１に示すｎ側電極２９およびｐ側電極３３は、それぞれ独立に、ニッケル層、白金層、金層がこの順に図１の＋Ｚ方向（高さ方向）に積層された構造を有することが好ましい（図示略）。また、ｎ側電極２９およびｐ側電極３３の厚さは、３００ｎｍ以上３０００ｎｍ以下が好ましい。

[0104] ［透明保護膜］

透明保護膜３５は、SiO_2からなることが好ましい。また、透明保護膜３５の厚さは、５０ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることが好ましい。

[0105] 本実施形態によれば、発光装置の発光効率を向上させ、かつ、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現できる発光ダイオードが提供される。

[0106] ＜発光装置＞

図２は、本実施形態の発光装置１００を示す断面図である。発光装置１００は、上述の構成からなる発光ダイオード１０１と、発光ダイオードから射出される光の光路上に設けられた波長変換物質１０２と、発光ダイオード１０１および波長変換物質１０２の周囲に設けられた媒質１０３とを備えている。また、発光ダイオード１０１には、アノード１０４およびカソード１０５が金ワイヤ１０７を介して、それぞれ接続されている。さらに、発光ダイ

オード１０１、波長変換物質１０２、媒質１０３および金ワイヤ１０７の全体と、アノード１０４およびカソード１０５の一部を覆うようにセラミックパッケージ１０６が設けられている。

[0107] ［波長変換物質］

図２に示す波長変換物質１０２は、発光ダイオード１０１の発光層１７から射出される複数の光のうち少なくとも１種類の光を吸収して、発光層１７から射出される光とは異なる波長の光を少なくとも前記光射出方向に射出することができる。

[0108] 波長変換物質１０２は、第１の波長変換物質１０２Ａと第２の波長変換物質１０２Ｂとを備えていることが好ましい。第１の波長変換物質１０２Ａは、量子井戸層１Ａから射出される光を吸収して、量子井戸層１Ａから射出される光とは異なる波長の光を射出することが好ましい。一方、第２の波長変換物質１０２Ｂは、量子井戸層１Ｂから射出される光を吸収して、量子井戸層１Ｂから射出される光とは異なる波長の光を射出することが好ましい。

[0109] 上述の波長変換物質１０２には、蛍光体が含まれていることが好ましい。蛍光体の励起波長領域は、紫外領域であってもよく、可視領域であってもよい。

[0110] 波長変換物質１０２に含まれている蛍光体としては、例えば、$Sr_2P_2O_7:Sn^{4+}$、$Sr_4Al_{14}O_{25}:Eu^{2+}$、$BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$、$SrGa_2S_4:Ce^{3+}$、$CaGa_2S_4:Ce^{3+}$、$(Ba、Sr)(Mg、Mn)Al_{10}O_{17}:Eu^{2+}$、$(Sr、Ca、Ba_2、Mg)_{10}(PO_4)_6C_{l2}:Eu^{2+}$、$BaAl_2SiO_8:Eu^{2+}$、$Sr_2P_2O_7:Eu^{2+}$、$Sr_5(PO_4)_3Cl:Eu^{2+}$、$(Sr, Ca, Ba)_5(PO_4)_3Cl:Eu^{2+}$、$Ba_2Mg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$、$(Ba, Ca)_5(PO_4)_3Cl:Eu^{2+}$、$Ba_3MgSi_2O_8:Eu^{2+}$、$Sr_3MgSi_2O_8:Eu^{2+}$、$(BaMg)Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}, Mn^{2+}$、$Sr_4Al_{14}O_{25}:Eu^{2+}$、$(SrBa)Al_{12}Si_2O_8:Eu^{2+}$、$(BaMg)_2SiO_4:Eu^{2+}$、$Y_2SiO_5:Ce^{3+}, Tb^{3+}$、$Sr_2P_2O_7{-}Sr_2B_2O_5:Eu^{2+}$、$(BaCaMg)_5(PO_4)$

$_3$Cl：Eu^{2+}、$Sr_2Si_3O_8-2SrCl_2$：Eu^{2+}、Zn_2SiO_4、$MgAl_{11}O_{19}$：Ce^{3+}, Tb^{3+}、Ba_2SiO_4：Eu^{2+}、Sr_2SiO_4：Eu^{2+}、(BaSr)SiO_4：Eu^{2+}、(Si, Al)$_6$(O, N)$_8$：Eu^{2+}、Ca_3(Sc, Mg)$_2Si_3O_{12}$：Ce^{3+}、$SrSi_2$(O, Cl)$_2N_2$：Eu^{2+}、Y_2O_2S：Eu^{3+}、$YAlO_3$：Eu^{3+}、$Ca_2Y_2(SiO_4)_6$：Eu^{3+}、$LiY_9(SiO_4)_6O_2$：Eu^{3+}、YVO_4：Eu^{3+}、CaS：Eu^{2+}、Gd_2O_3：Eu^{3+}、Gd_2O_2S：Eu^{3+}、Y(P, V)O_4：Eu^{3+}、$Mg_4GeO_{5.5}F$：Mn^{4+}、Mg_4GeO_6：Mn^{4+}、$K_5Eu_{2.5}(WO_4)_{6.25}$、$Na_5Eu_{2.5}(WO_4)_{6.25}$、$K_5Eu_{2.5}(MoO_4)_{6.25}$、$Na_5Eu_{2.5}(MoO_4)_{6.25}$、(Sr, Ca)$AlSiN_3$：$Eu^{2+}$、$CaAlSiN_3$：$Eu^{2+}$、$SrSiN_2$：$Eu^{2+}$、$SrAlSiN_3$：$Eu^{2+}$、$Ca_2Si_5N_8$：$Eu^{2+}$、$Sr_2Si_5N_8$：$Eu^{2+}$、$Ba_2AlSi_5N_8$：$Eu^{2+}$、$Sr_2Si_3O_2N_4$：$Eu^{2+}$、$Sr_2Si_3Al_2O_2N_6$：$Eu^{2+}$、$SrSc_2O_4$：$Eu^{2+}$、(Sr, Ba)$_3SiO_5$：$Eu^{2+}$、$Mg_2TiO_4$：$Mn^{2+}$、(Y,Gd)$_3(Al, Ga)_5O_{12}$：$Ce^{3+}$等が挙げられる。

[0111] 波長変換物質１０２に、蛍光体が単独で含まれていてもよいし、異なる波長の蛍光を発する蛍光体が複数含まれていてもよい。

[0112] 本実施形態によれば、発光効率が高く、かつ、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現できる発光装置が提供される。

[0113] 例えば、照明用では、発光装置の演色性を向上させる目的で、波長変換物質として複数の蛍光体が用いられることがある。また、液晶表示装置のバックライト用途向けの発光装置には、色再現性を良くするために半値幅の狭い発光スペクトルをもつ蛍光体を複数組み合わせて使用することがある。しかし、従来の発光装置の発光ダイオードから取り出せる単一な波長のみでは、複数の蛍光体を励起することは難しかった。また、仮に蛍光体を励起させたとしても、得られた蛍光が他の蛍光体に吸収されることがあった。したがって、従来の発光装置では、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現させる目的で、複数の蛍光体を用いると、発光効率が低

下する恐れがあった。

[0114] これに対し、本発明の実施形態の発光装置の発光ダイオードは、複数の波長の光を射出する。そのため、本発明の実施形態の発光装置においては、蛍光体が励起される波長が制限されず、複数の蛍光体を自由に組み合わせることができる上に、量子効率に優れている。また、本発明の実施形態の発光ダイオードは、可視領域の波長の光を取り出せるため、蛍光体を励起させるだけでなく、白色光に含まれる要素の１つとしても利用することができる。以上のことから、本発明の実施形態の発光装置は、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を示すだけでなく、発光効率にも優れている。

[0115] なお、本発明の実施形態の発光装置は、上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の実施形態の趣旨を逸脱しない範囲において、種々の変更を加えることが可能である。

[0116] 例えば、上述の実施形態では、１つの発光装置１００に、１つの発光ダイオード１０１が設けられている場合を例示したが、複数の発光ダイオード１０１が設けられていてもよい。

[0117] さらに、上述の実施形態では、発光装置１００に設けられた媒質１０３が、発光ダイオード１０１に接して設けられている場合を例示したが、媒質１０３は、発光ダイオード１０１に接していなく、離れて設けられていてもよい。

[0118] さらに、上述の実施形態では、発光装置１００に設けられた波長変換物質１０２が、媒質１０３の内部に設けられている場合を例示したが、波長変換物質１０２は、媒質１０３の内部に設けられていなく、離れて設けられていてもよい。

実施例

[0119] 以下に本発明の一態様を実施例により説明するが、本発明の一態様はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0120] ＜評価方法＞

本実施例の発光ダイオードおよび発光装置において、Ｖピットの観測、発光スペクトルの測定および発光ピーク強度比の変動の測定は以下の方法で行った。

[0121] ［Ｖピットの観測］

集束イオンビーム加工装置を用いて、実施例で形成した窒化物半導体多層膜に垂直に小片を切り出し、研磨やイオンミリングで電子線が透過する程度に薄く加工し、測定サンプルを得た。これを、透過型電子顕微鏡を用いて、断面を観察した。

[0122] ［発光スペクトルの測定］

実施例の発光装置について、電流値０．１ｍＡ～１Ａの条件で、積分球と分光器を用いて発光スペクトルを測定した。

[0123] ［発光効率の測定］

実施例の発光装置について、積分球を用いて全光束の強度（単位：ｌｍ）を求め、下式から発光効率（単位：ｌｍ／Ｗ）を算出した。なお、投入電力（単位：Ｗ）は、測定時の電圧値および電流値から求められる値である。

発光効率（ｌｍ／Ｗ）＝全光束の強度（ｌｍ）／投入電力（Ｗ）

[0124] ［発光ピーク強度比の変動の測定］

実施例の発光装置について、発光ダイオードの駆動電流密度を５Ａ／ｃｍ^2～５０Ａ／ｃｍ^{2}の間に設定し、積分球により発光スペクトルを測定したとき、発光層から射出される複数の光における主発光ピークの最大値と最小値の比を算出した。

[0125] ＜発光ダイオードの製造＞

［製造例１（発光ダイオードＡの製造）］

まず、サファイア基板の表面に凸部を形成した。続いて、透明基板３の表面上に厚さが３０ｎｍになるように、スパッタ法を用いてＡｌＯＮ結晶（ただし、窒素原子の０．２～５モル％が酸素原子に置き換えられている）を成長させ、バッファ層４を形成した。

[0126] バッファ層４の表面上に、厚さが３μｍになるように下地層５を形成した

。まず、１００ｎｍになるように、１０００℃でＧａＮ結晶を成長させ、第１の下地層を形成した。続いて、９００℃に下げて、凸部同士の間を埋めるように、ＧａＮ結晶を３次元方向に成長させ、第２の下地層を形成した。さらに、１１００℃に上げて、ＧａＮ結晶を横方向に成長させ、表面が平坦になった第３の下地層を形成した。

[0127] 下地層５の表面上に、厚さが３．５μｍになるように、１１００℃で、シリコンドープ濃度１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$のｎ型ＧａＮ結晶を成長させ、ｎ型窒化物半導体層１３を形成した。続いて、ｎ型窒化物半導体層１３の表面上に、厚さが６０ｎｍになるように、７５０℃に下げ、キャリアガス中の窒素濃度が５０％以上になるようにして、シリコンをドープさせたｎ型ＧａＮ結晶を成長させ、Ｖピット発生層１４を形成した。

[0128] Ｖピット発生層１４の表面上に、厚さが１２ｎｍになるように、シリコンドープ濃度７×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$のＩｎ$_{0.02}$Ｇａ$_{0.98}$Ｎ結晶を成長させ、第１の超格子層１５Ａを形成した。続いて、第１の超格子層１５Ａの表面上に厚さが３０ｎｍになるように、シリコンドープ濃度７×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$のＧａＮ結晶を成長させ、第２の超格子層１５Ｂを形成した。このような第１の超格子層１５Ａと、第２の超格子層１５Ｂとを１周期として、Ｖピット発生層１４の表面上に、５周期積層させた。

[0129] 第２の超格子層１５Ｂの表面上に、厚さが３．３ｎｍになるように、７７０℃でＩｎＧａＮ結晶を成長させ、量子井戸層１Ａを形成した。続いて、厚さが１２ｎｍになるように、８７０℃でＧａＮ結晶を成長させ、障壁層２Ａを形成した。このような量子井戸層１Ａと、障壁層２Ａとを１周期として、第２の超格子層１５Ｂの表面上に、７周期積層させた。さらに、障壁層２Ａの表面上に、厚さが４．１ｎｍになるように、７３０℃でＩｎＧａＮ結晶を成長させ、量子井戸層１Ｂを形成した。量子井戸層１Ｂの表面上に、厚さが１１ｎｍになるように、８７０℃でＧａＮ結晶を成長させ、障壁層２Ｂを形成し、発光層１７を形成した。上述の方法で、発光層１７を形成するときのキャリアガスとして、水素を意図的に用いなかった。ただし、原料を分解さ

せて得られる水素は、Ｖピット１８の形成に影響しないと考えられるため、除外した。

[0130] 発光層の表面上に、厚さが１５ｎｍになるように、９８０℃に上げて、ＡｌＧａＮ結晶（ただし、結晶中にアルミニウムを１２％含む）を成長させ、アンドープ層１９を形成した。続いて、アンドープ層１９の表面上に、厚さが２２ｎｍになるように、１０５０℃に上げて、マグネシウムをドープさせたＡｌＧａＮ結晶（ただし、結晶中にアルミニウムを２０％含む）を成長させ、第１のｐ型窒化物半導体層２１を形成した。さらに、第１のｐ型窒化物半導体層２１の表面上に、厚さが４０ｎｍになるように、マグネシウムをドープさせたＧａＮ結晶を成長させ、第２のｐ型窒化物半導体層２３を形成した。さらに、第２のｐ型窒化物半導体層２３の表面上に、厚さが１２ｎｍになるように、マグネシウムをドープさせたＧａＮ結晶を成長させ、第３のｐ型窒化物半導体層２５を形成した。このとき、第１～第３のｐ型窒化物半導体層のマグネシウム濃度が、第１のｐ型窒化物半導体層２１から第３のｐ型窒化物半導体層２５に向かって$1\times10^{19}cm^{-3}$から$2\times10^{19}cm^{-3}$まで徐々に増加するように、マグネシウムをドープさせた。なお、下地層５の形成から、第３のｐ型窒化物半導体層２５の形成まではＭＯＣＶＤ法を用いて作製した。

[0131] 第３のｐ型窒化物半導体層２５の表面上に、厚さが８０ｎｍになるように、スパッタ法を用いて、ＩＴＯ結晶を成長させ、透明電極３１を形成した。続いて、透明電極３１の表面上に、ニッケル層、白金層および金層からなるボンディング用電極を設け、ｐ側電極３３を形成した。

[0132] また、第３のｐ型窒化物半導体層２５の表面をメサエッチングすることにより、ｎ型窒化物半導体層１３の表面の一部を露出させた。露出させたｎ型窒化物半導体層１３の表面上に、ニッケル層、白金層および金層からなるボンディング用電極を設け、ｎ側電極２９を形成した。

[0133] 次いで、透明電極３１および上記エッチングによって露出した各層の側面を主に覆うように、SiO_2からなる透明保護膜３５をスパッタ法により形成

した。このようにして、製造例１の発光ダイオードを作製した。

[0134] 上述の方法で発光ダイオードを作製した後、駆動電流１８０ｍＡをｐ側電極３３およびｎ側電極２９に印加し、発光スペクトルを測定した。量子井戸層１Ａからは、３８０ｎｍの光が射出され、量子井戸層１Ｂからは、４５０ｎｍの光が射出されることがわかった。

[0135] ［製造例２（発光ダイオードＢの製造）］

量子井戸層１Ｂを、７１５℃で成長させ、形成させた以外は、製造例１と同様にして行い、製造例２の発光ダイオードを作製した。上述の方法で発光ダイオードを作製した後、駆動電流１８０ｍＡをｐ側電極３３およびｎ側電極２９に印加し、発光スペクトルを測定した。量子井戸層１Ａからは、３８０ｎｍの光が射出され、量子井戸層１Ｂからは、４７５ｎｍの光が射出されることがわかった。

[0136] ［製造例３（発光ダイオードＣの製造）］

量子井戸層１Ａと量子井戸層１Ｂを合わせて１０層形成し、ｐ型窒化物半導体層２７側から数えて１層目を量子井戸層１Ａとし、２層目を量子井戸層１Ｂとした以外は、製造例１と同様にして行い、製造例３の発光ダイオードを作製した。製造例１と同様に、量子井戸層１Ａからは、３８０ｎｍの光が射出され、量子井戸層１Ｂからは、４５０ｎｍの光が射出されることがわかった。

[0137] ＜発光装置の製造＞

実施例１～３の発光装置は、表１に示す発光ダイオードおよび波長変換物質を用いて作製した。

[0138]

[表1]

	発光ダイオード		第1の波長変換物質（1）	第1の波長変換物質（2）	第2の波長変換物質（1）	第2の波長変換物質（2）
	種類	量子井戸層1Aの発光波長(nm)	量子井戸層1Bの発光波長(nm)			
実施例1	A	380	450	Y_2SiO_5:Ce, Tb	—	K_2SiF_6:Mn	—
実施例2	B	380	475	—	$BaMgAl_{10}O_{17}$:Eu	$CaAlSiN_3$:Eu	$Y_3Al_5O_{12}$:Ce
実施例3	C	380	450	Y_2SiO_5:Ce, Tb	—	K_2SiF_6:Mn	—

[0139] ＜Ｖピットの観測＞

実施例１～３の発光装置において、発光ダイオードの発光層に、Ｖピットが形成されていることを確認した。

[0140] ＜発光装置の発光特性＞

本実施例において、発光効率が高く、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現できる発光装置が得られることがわかった。

[0141] 図５Ａに、実施例１で作製した発光装置の発光スペクトルを示した。実施例１で作製した発光装置において、Y_2SiO_5：Ｃｅ，Ｔｂ蛍光体は、実施例１の量子井戸層１Ａから射出された３８０ｎｍの光を吸収し、緑色に発光した。一方、K_2SiF_6：Ｍｎ蛍光体は、実施例１の量子井戸層１Ｂから射出された４５０ｎｍの光を吸収し、赤色に発光した。このとき、４５０ｎｍの光の一部は、そのまま透過し、発光ダイオードの外部に射出された。上述の２種類の波長変換物質と発光ダイオードとから射出された光が混合し、白色光が射出された。したがって、実施例１によれば、発光効率が高く、カラーフィルターを併用したときの色再現性に優れた発光装置が提供された。

[0142] ここで、図５Ｂに液晶表示装置のバックライトに使用されるカラーフィルターの透過スペクトルの一例を示した。実施例１の発光装置の白色光は、その大部分が図５Ｂに示したカラーフィルターを透過できる。そのため、このような発光装置は、液晶表示装置のバックライト用途に用いることができる。

[0143] 図６に、実施例２で作製した発光装置の発光スペクトルを示した。実施例２で作製した発光装置において、$BaMgAl_{10}O_{17}$（以下、ＢＡＭ）：Ｅｕ蛍光体は、実施例２の量子井戸層１Ａから射出された３８０ｎｍの光を吸収し、青色に発光した。一方、$Y_3Al_5O_{12}$（以下、ＹＡＧ）：Ｃｅ蛍光体は、実施例２の量子井戸層１Ｂから射出された４７５ｎｍの光を吸収し、黄色に発光した。さらに、$CaAlSiN_3$（以下、ＣＡＳＮ）：Ｅｕ蛍光体は、実施例２の量子井戸層１Ｂから射出された４７５ｎｍの光のみならず、量

子井戸層１Ａから射出された３８０ｎｍの光、ＢＡＭ：Ｅｕ蛍光体から射出される青色光、およびＹＡＧ：Ｃｅ蛍光体から射出される黄色光の一部を吸収し、赤色に発光した。上述の３種類の波長変換物質から射出された光が混合し、白色光が射出された。したがって、実施例２によれば、演色性に優れた発光装置が提供された。このような発光装置は、照明装置に用いることができる。

[0144] 実施例３で作製した発光装置において、発光効率は、実施例１に比べて、約３％向上した。また、発光ダイオードＣの駆動電流密度を５Ａ／ｃｍ^2～５０Ａ／ｃｍ^{2}の間に設定し、発光スペクトルを測定したとき、主発光ピークの最大値と最小値の比は、実施例１に比べて、約２％低減した。

[0145] 上記実施例では、主発光ピークの波長が２種類である一例を記載したが、３種類以上であってもよい。例えば、３種類の主発光ピークの波長の光を射出する３種類の量子井戸層を有する場合、最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、発光層１７においてｎ型窒化物半導体層１３側から２層目以降に位置している量子井戸層１Ｂである。他の２種類の主発光ピークを有する量子井戸層は量子井戸層１Ｂを除いた第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層の量子井戸層１Ａ中に含まれている。第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層中の３種類の量子井戸層の配置は、量子井戸層１Ｂがｎ型窒化物半導体層１３側から２層目以降に位置していること以外は特に限定されない。このような場合でも、本発明の一態様の効果は得られることを確認した。

[0146] 以上の結果により、本発明の一態様が有用であることが確かめられた。

産業上の利用可能性

[0147] 本発明の一態様は、発光装置の発光効率を向上させ、かつ、照明用途に好適な演色性やバックライト用途に好適な色再現性を実現することが必要な発光ダイオードや、この発光ダイオードを備えた発光装置などに適用することができる。

符号の説明

[0148] １…量子井戸層、１Ａ…第１から第Ｎの量子井戸層（Ｎ≧２、ただし、後

述する１Ｂを除く。）、１Ｂ…最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層、２…障壁層、３…透明基板、３ａ…凸部、４…バッファ層、５…下地層、７…基板部、９…第１のｎ型窒化物半導体層、１１…第２のｎ型窒化物半導体層、１３…ｎ型窒化物半導体層、１４…Ｖピット発生層、１５…超格子層、１５Ａ…第１の超格子層、１５Ｂ…第２の超格子層、１７…発光層、１８…Ｖピット、１９…アンドープ層、２０…機能層、２１…第１のｐ型窒化物半導体層、２３…第２のｐ型窒化物半導体層、２５…第３のｐ型窒化物半導体層、２７…ｐ型窒化物半導体層、２９…ｎ側電極、３１…透明電極、３３…ｐ側電極、３５…透明保護膜、１００…発光装置、１０１…発光ダイオード、１０２…波長変換物質、１０２Ａ…第１の波長変換物質、１０２Ｂ…第２の波長変換物質、１０３…媒質、１０４…アノード、１０５…カソード、１０６…セラミックパッケージ、１０７…金ワイヤ

請求の範囲

[請求項1] 透明基板と、

前記透明基板の表面に設けられた窒化物半導体多層膜と、を含む発光ダイオードであって、

前記窒化物半導体多層膜は、第１の窒化物半導体層と、

前記第１の窒化物半導体層に対し、前記透明基板とは反対側に設けられた第２の窒化物半導体層と、

前記第１の窒化物半導体層と、前記第２の窒化物半導体層と、の間に設けられた発光層と、を備え、

前記透明基板は、前記第１の窒化物半導体層と対向する面に凸部を有しており、

前記発光層は、前記第１の窒化物半導体層側から順番に、第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層（Ｎ≧２）の複数の量子井戸層を備え、

前記複数の量子井戸層は、主発光ピークの波長が異なる２種類以上の光を射出する２種類以上の量子井戸層を有し、

前記２種類以上の量子井戸層のうち、最も長波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、前記発光層において、前記第１の窒化物半導体層側から２層目以降に位置している発光ダイオード。

[請求項2] 前記発光層は、前記第１の窒化物半導体層から前記第２の窒化物半導体層の方向に拡がる窪みを有しており、

前記窪みは前記第１の量子井戸層から第Ｎの量子井戸層に渡って設けられ、

前記窪みの内側は、前記窪みの外側よりも前記量子井戸層が薄く積層されている請求項１に記載の発光ダイオード。

[請求項3] 前記２種類以上の量子井戸層のうち、最も短波長の主発光ピークを有する量子井戸層は、３７０ｎｍ～４８０ｎｍの範囲に主発光ピークを有する請求項１または２に記載の発光ダイオード。

[請求項4] 前記２種類以上の量子井戸層のうち、最も短波長の主発光ピークを有する量子井戸層以外は、４３０ｎｍ～５５０ｎｍの範囲に主発光ピークを有する請求項３に記載の発光ダイオード。

[請求項5] 請求項１～４のいずれか１項に記載の発光ダイオードと、

前記発光ダイオードから射出される光の光路上に設けられた波長変換物質と、を備え、

前記波長変換物質は、前記発光層から射出される複数の光のうち少なくとも１種類の光を吸収して、前記発光層から射出される光とは異なる波長の光を射出する発光装置。

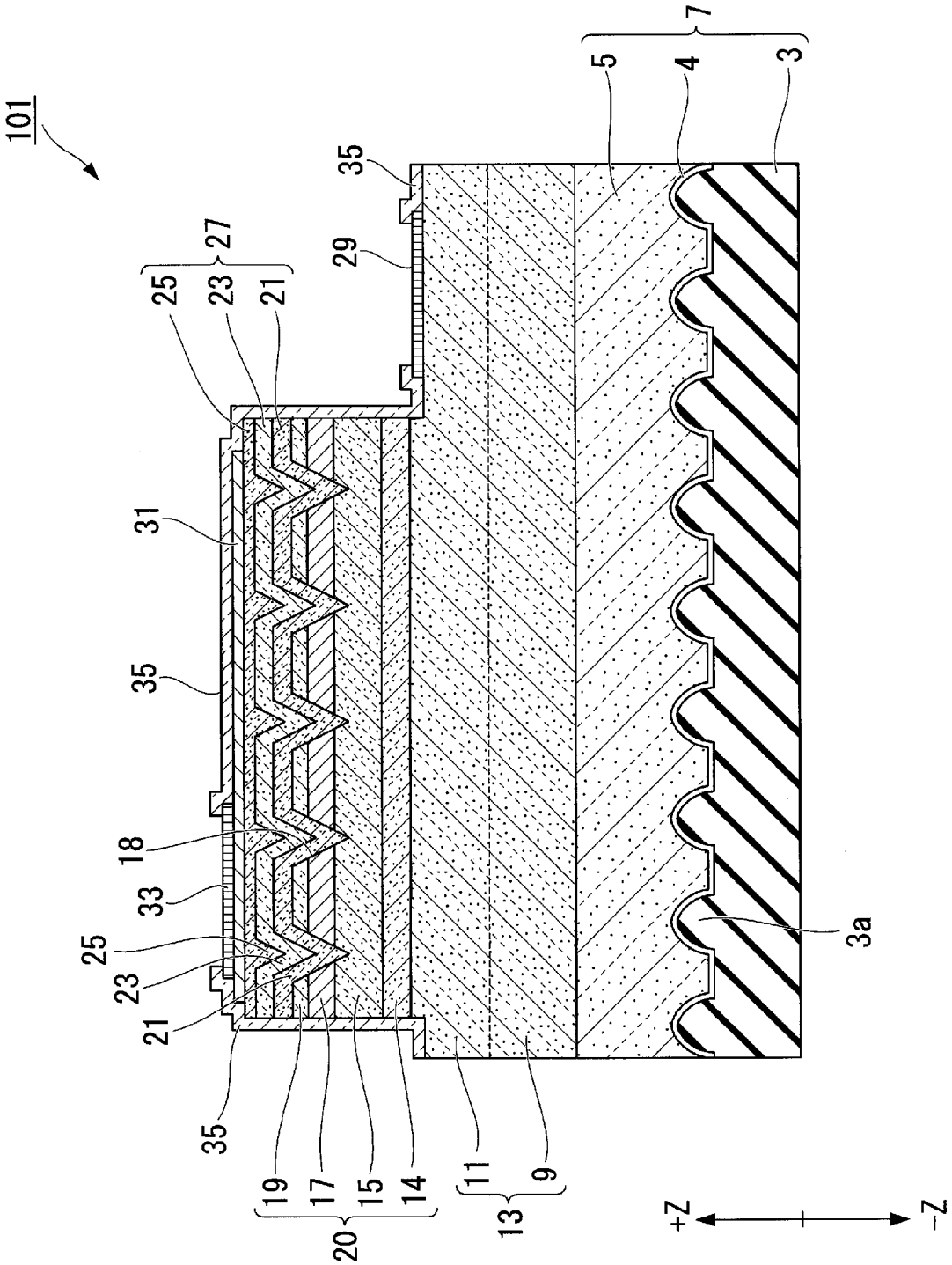
[請求項6] 前記波長変換物質は、第１の波長変換物質と、

第２の波長変換物質と、を備え、

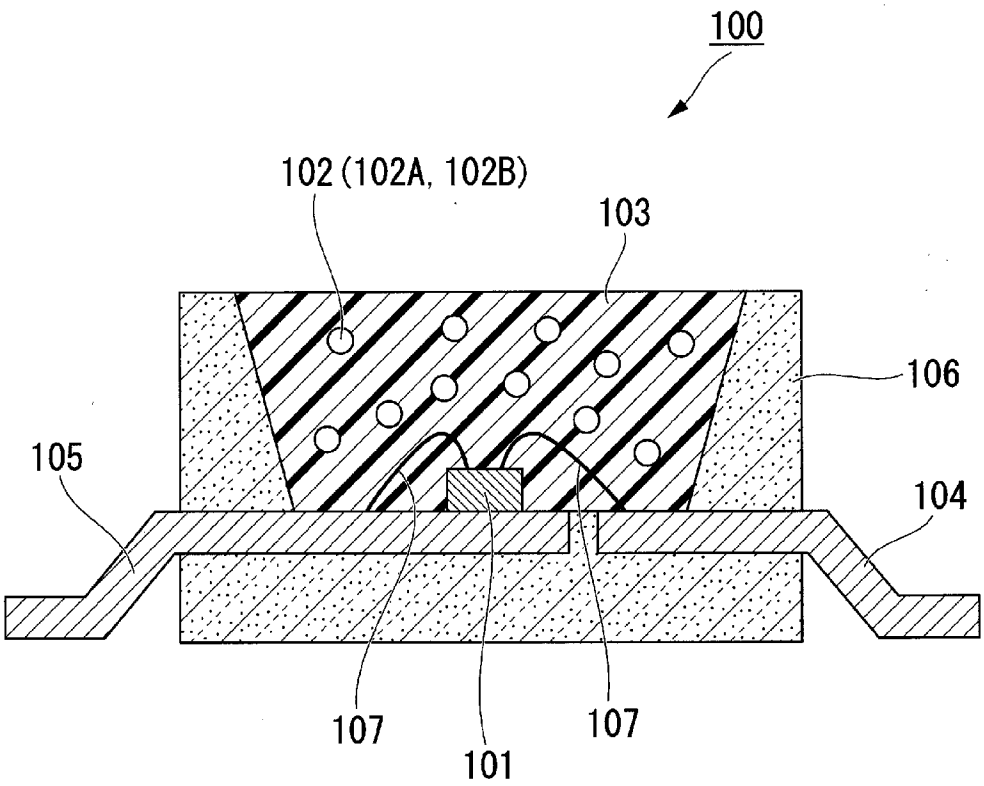
前記第１の波長変換物質は、量子井戸層から射出される光を吸収して、前記量子井戸層から射出される光とは異なる波長の光を射出し、

前記第２の波長変換物質は、前記量子井戸層よりも長波長の主発光ピークを有する量子井戸層から射出される光を吸収して、前記長波長の主発光ピークを有する量子井戸層から射出される光とは異なる波長の光を射出する請求項５に記載の発光装置。

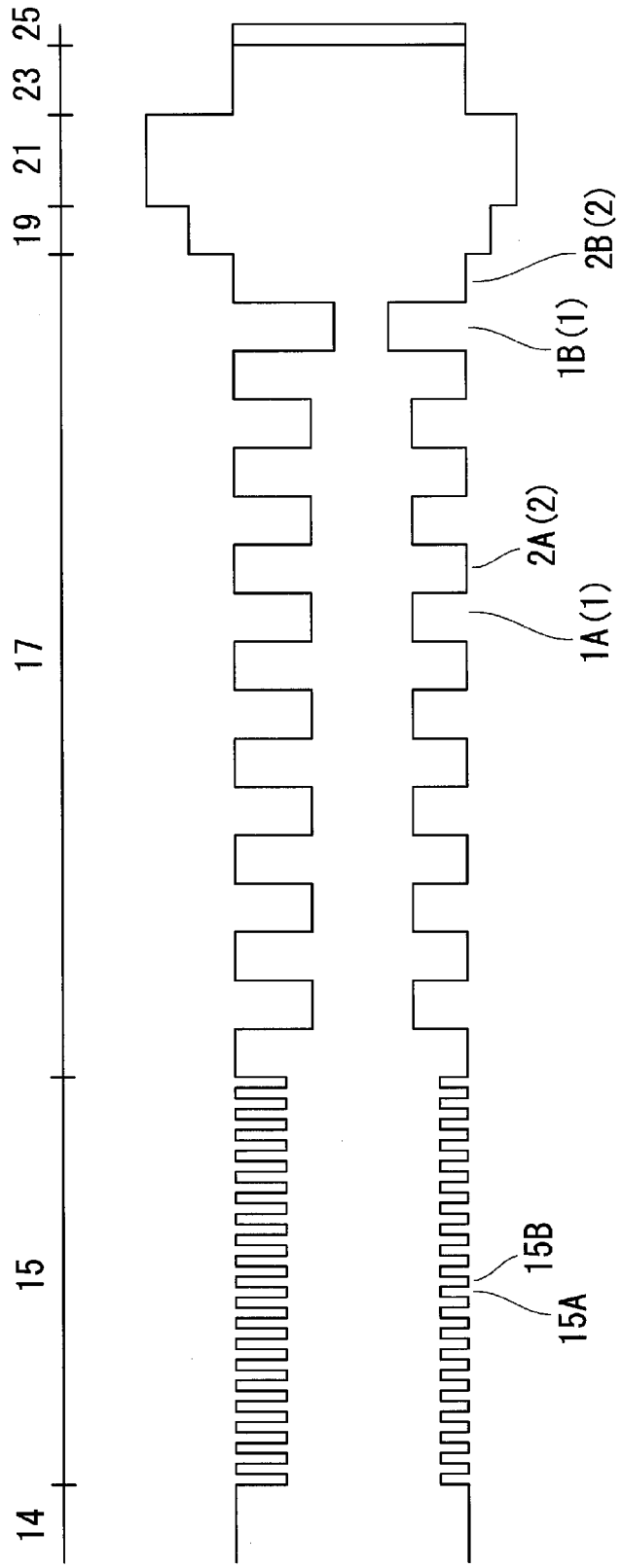
[図1]


101
7
5
4
3
35
29
27
25
23
21
31
35
18
33
25
23
21
3a
35
19
17
15
14
11
9
20
13
+Z
-Z

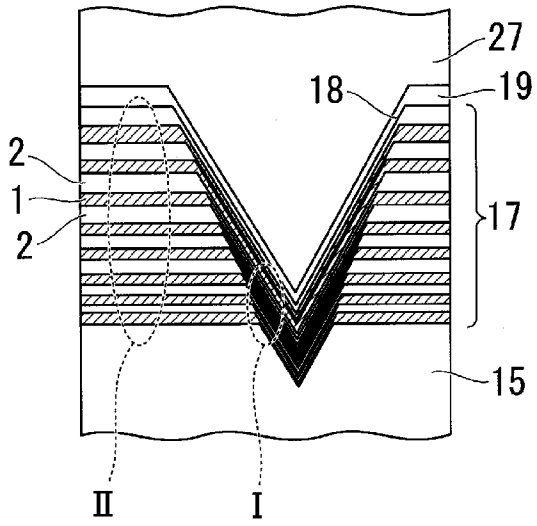
[図2]



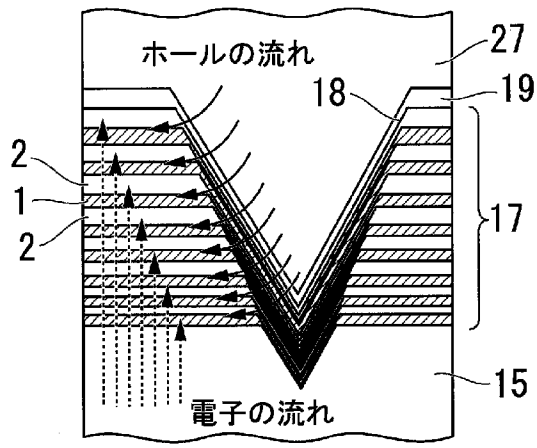
[図3]



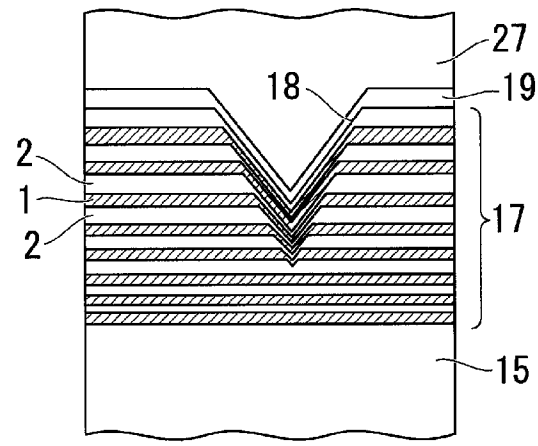
[図4A]


27
18
19
2
1
2
17
15
II
I

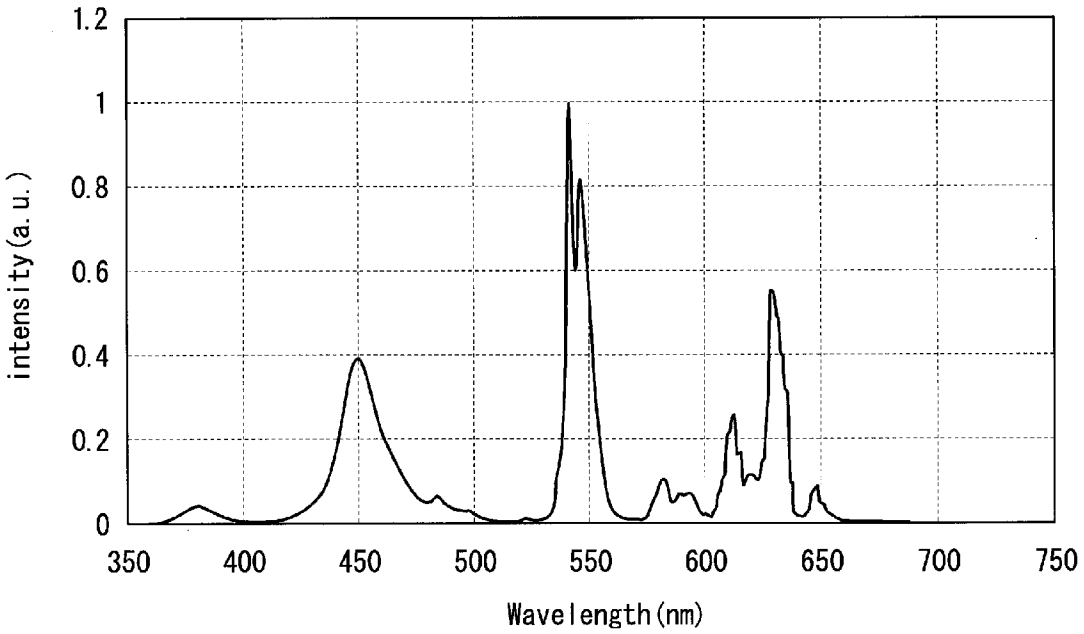
[図4B]


ホールの流れ
27
18
19
2
1
2
17
15
電子の流れ

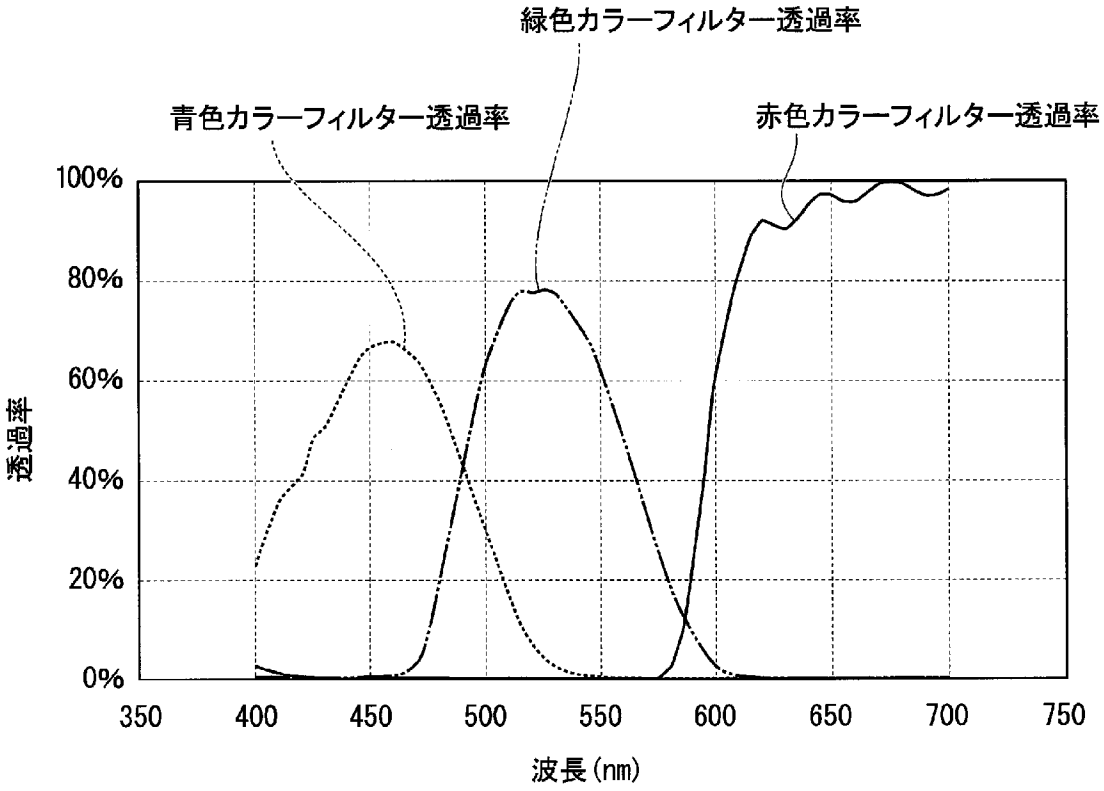
[図4C]


27
18
19
2
1
2
17
15

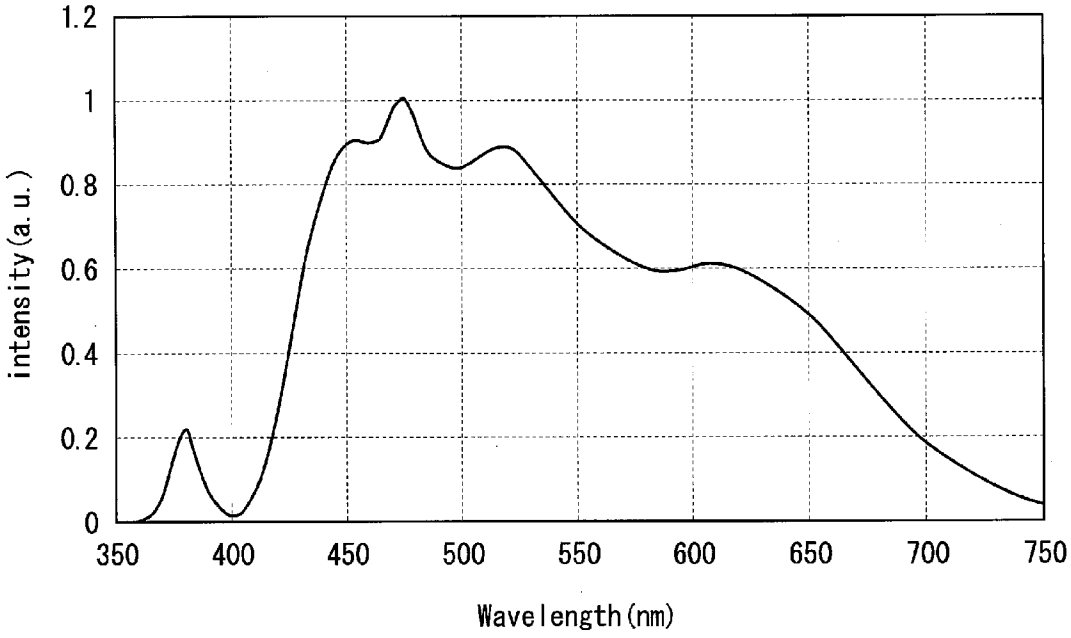
[図5A]


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
intensity(a.u.)
350
400
450
500
550
600
650
700
750
Wavelength(nm)

[図5B]


緑色カラーフィルター透過率
青色カラーフィルター透過率
赤色カラーフィルター透過率
100%
80%
60%
40%
20%
0%
透過率
350
400
450
500
550
600
650
700
750
波長(nm)

[図6]


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
intensity(a.u.)
350
400
450
500
550
600
650
700
750
Wavelength(nm)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/025534

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L33/06(2010.01)i, *H01L21/205*(2006.01)i, *H01L33/22*(2010.01)i, *H01L33/32*(2010.01)i, *H01L33/50*(2010.01)i, *H01S5/343*(2006.01)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)
H01L33/06, H01L21/205, H01L33/22, H01L33/32, H01L33/50, H01S5/343

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2008-41807 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 21 February 2008 (21.02.2008), paragraphs [0004] to [0019]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-6
Y	JP 2001-28458 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 30 January 2001 (30.01.2001), paragraphs [0046] to [0067]; fig. 1 (Family: none)	1-6
Y	JP 2006-80525 A (Blue Photonics Inc.), 23 March 2006 (23.03.2006), paragraph [0022]; fig. 1 & US 2006/0049415 A1 paragraph [0027]; fig. 1 & CN 1790756 A & TW 200623462 A	1-6

☒ 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
22 September 2017 (22.09.17)	03 October 2017 (03.10.17)

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/JP2017/025534

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 2013-187484 A (Sharp Corp.), 19 September 2013 (19.09.2013), fig. 1 (Family: none)	1-6
Y	JP 2008-218746 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 September 2008 (18.09.2008), paragraphs [0024] to [0038]; fig. 1 to 3 (Family: none)	2,5-6
Y	JP 2013-120774 A (Yamaguchi University), 17 June 2013 (17.06.2013), paragraphs [0020] to [0093]; fig. 6 & US 2014/0332756 A1 paragraphs [0032] to [0099]; fig. 6 & CN 104040737 A	2,5-6
Y	JP 2016-119483 A (Manutius IP Inc.), 30 June 2016 (30.06.2016), paragraphs [0025] to [0044]; fig. 1 to 4 & US 2013/0082273 A1 paragraphs [0023] to [0042]; fig. 1 to 4 & TW 201330315 A & CN 103460409 A & KR 10-2014-0010064 A & HK 1192061 A	2,5-6
Y	JP 2013-214735 A (Panasonic Corp.), 17 October 2013 (17.10.2013), paragraphs [0030] to [0034]; fig. 3 & US 2013/0234622 A1 paragraphs [0050] to [0055]; fig. 3 & EP 2637224 A2 & CN 103311415 A	5-6
Y	JP 2016-100429 A (Edison Opto Corp.), 30 May 2016 (30.05.2016), paragraph [0019] (Family: none)	5-6
Y	JP 2015-528210 A (Koninklijke Philips N.V.), 24 September 2015 (24.09.2015), paragraphs [0007], [0052]; fig. 3b & US 2015/0300577 A1 paragraphs [0006], [0062]; fig. 3b & EP 2835036 A2 & CN 104322149 A & RU 2014150783 A	5-6
A	US 2016/0087154 A1 (LAI,Yen-Lin), 24 March 2016 (24.03.2016), entire text; all drawings & TW 201613129 A	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２５５３４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L33/06(2010.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L33/22(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i, H01L33/50(2010.01)i, H01S5/343(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L33/06, H01L21/205, H01L33/22, H01L33/32, H01L33/50, H01S5/343

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　１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報　１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報　１９９４－２０１７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 2008-41807 A (豊田合成株式会社) 2008.02.21, [0004]-[0019], 図 1-2 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 2001-28458 A (日亜化学工業株式会社) 2001.01.30, [0046]-[0067], 図 1 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 2006-80525 A (ブルー　フォトニクス　インコーポレイテッド) 2006.03.23, [0022], 図 1 & US 2006/0049415 A1, [0027], FIG.1	1-6

☑　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	国際調査報告の発送日
２２．０９．２０１７	０３．１０．２０１７

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

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｋ　６２０４
小濱　健太
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
	& CN 1790756 A & TW 200623462 A	
Y	JP 2013-187484 A (シャープ株式会社) 2013.09.19, 図１（ファミリーなし）	1-6
Y	JP 2008-218746 A (住友電気工業株式会社) 2008.09.18, [0024]-[0038], 図 1-3（ファミリーなし）	2, 5-6
Y	JP 2013-120774 A (国立大学法人山口大学) 2013.06.17, [0020]-[0093], 図 6 & US 2014/0332756 A1, [0032]-[0099], FIG.6 & CN 104040737 A	2, 5-6
Y	JP 2016-119483 A (マヌティウス　アイピー　インコーポレーテッド) 2016.06.30, [0025]-[0044], 図 1-4 & US 2013/0082273 A1, [0023]-[0042], FIGS.1-4 & TW 201330315 A & CN 103460409 A & KR 10-2014-0010064 A & HK 1192061 A	2, 5-6
Y	JP 2013-214735 A (パナソニック株式会社) 2013.10.17, [0030]-[0034],図 3 & US 2013/0234622 A1, [0050]-[0055], FIG.3 & EP 2637224 A2 & CN 103311415 A	5-6
Y	JP 2016-100429 A (艾笛森光電股▲ふん▼有限公司) 2016.05.30, [0019]（ファミリーなし）	5-6
Y	JP 2015-528210 A (コーニンクレッカ　フィリップス　エヌ　ヴェ) 2015.09.24, [0007],[0052],図 3b & US 2015/0300577 A1, [0006], [0062], Fig.3b & EP 2835036 A2 & CN 104322149 A & RU 2014150783 A	5-6
A	US 2016/0087154 A1 (LAI,Yen-Lin) 2016.03.24, 全文全図 & TW 201613129 A	1-6