

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4857310号
(P4857310)

(45) 発行日 平成24年1月18日(2012.1.18)

(24) 登録日 平成23年11月4日(2011.11.4)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 33/50 (2010.01) H O 1 L 33/00 4 1 0

請求項の数 25 (全 53 頁)

(21) 出願番号	特願2008-163168 (P2008-163168)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成20年6月23日 (2008. 6. 23)		パナソニック株式会社
(62) 分割の表示	特願2005-43395 (P2005-43395) の分割		大阪府門真市大字門真1006番地
原出願日	平成17年2月21日 (2005. 2. 21)	(74) 代理人	100077931
(65) 公開番号	特開2008-227553 (P2008-227553A)		弁理士 前田 弘
(43) 公開日	平成20年9月25日 (2008. 9. 25)	(74) 代理人	100110939
審査請求日	平成20年6月23日 (2008. 6. 23)		弁理士 竹内 宏
(31) 優先権主張番号	特願2004-42329 (P2004-42329)	(74) 代理人	100110940
(32) 優先日	平成16年2月19日 (2004. 2. 19)		弁理士 嶋田 高久
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100113262
(31) 優先権主張番号	特願2004-42330 (P2004-42330)		弁理士 竹内 祐二
(32) 優先日	平成16年2月19日 (2004. 2. 19)	(74) 代理人	100115059
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 今江 克実
		(74) 代理人	100115691
			弁理士 藤田 篤史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の半導体層からなり、第1の発光光を出力する発光ダイオード部と、前記発光ダイオード部に設けられ、前記第1の発光光を吸収して該第1の発光光とは中心波長が異なる第2の発光光を放出する半導体膜と、前記発光ダイオード部に設けられた電極とを備え、前記半導体膜は、前記第2の発光光を前記第1の発光光による光励起によって放出し、前記半導体膜は、複数に分割されており、前記電極は、前記複数の半導体膜を継続的に覆うように形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

前記半導体層の表面は、前記半導体膜が形成されない領域において凹部を有し、該凹部の側面が前記電極により覆われることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項 3】

前記電極は、前記第1の発光光又は前記第2の発光光を透過することを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記電極は、金属電極であることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記電極は、前記第 1 の発光光又は前記第 2 の発光光に対する反射率が 60% 以上であることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

前記電極は、金、白金、銅、銀及びロジウムからなる群より選択される少なくとも 1 つの材料からなる単層膜又は多層膜により構成されていることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

前記発光ダイオード部に設けられ、膜厚が少なくとも 10 μm の金属膜をさらに備え、前記発光ダイオード部は前記金属膜を通して電流が注入されることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

10

【請求項 8】

前記金属膜は、金、銅又は銀により構成されていることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体発光素子。

【請求項 9】

前記第 1 の発光光は、青色光又は紫外光であることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 10】

前記半導体膜は、前記第 1 の発光光により励起され、赤色の前記第 2 の発光光を放出することを特徴とする請求項 9 に記載の半導体発光素子。

【請求項 11】

前記半導体膜は、互いに波長が異なる発光光を放出する複数の半導体膜が積層されて形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

20

【請求項 12】

前記半導体膜は不純物が添加されており、該半導体膜は、前記第 1 の発光光により励起され、且つ前記不純物に起因するエネルギー準位を介して可視域の前記第 2 の発光光を放出することを特徴とする前記 1 ~ 11 のうちのいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 13】

前記半導体膜は不純物が添加されており、該半導体膜は、前記不純物における内殻電子を介した発光により可視域の前記第 2 の発光光を放出することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のうちのいずれかに記載の半導体発光素子。

30

【請求項 14】

前記不純物は、ユウロピウム、サマリウム又はイッテルビウムであることを特徴とする請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 15】

前記発光ダイオード部又は前記半導体膜は、単結晶からなる基板上に形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 6 及び 9 ~ 14 のうちのいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 16】

前記基板は、第 1 の発光光及び第 2 の発光光を透過することを特徴とする請求項 15 に記載の半導体発光素子。

40

【請求項 17】

前記単結晶は、サファイア、炭化ケイ素、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化リチウムガリウム、酸化リチウムアルミニウム、又は酸化リチウムガリウムと酸化リチウムアルミニウムの混晶であることを特徴とする請求項 15 に記載の半導体発光素子。

【請求項 18】

前記発光ダイオード部及び半導体膜を覆うと共に、前記第 1 の発光光を吸収して第 3 の発光光を放出する蛍光体をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 ~ 17 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 19】

50

単結晶からなる基板上に、複数の半導体層からなる発光ダイオード部を形成する工程（a）と、

前記発光ダイオード部の上に、該発光ダイオード部が出力する第1の発光光を吸収し、吸収した前記第1の発光光による光励起によって該第1の発光光とは中心波長が異なる第2の発光光を放出する、複数の分割された半導体膜を選択的に形成する工程（b）と、

前記工程（b）よりも後に、前記発光ダイオード部の上に、電極を形成する工程（c）を備え、

前記工程（c）において、前記電極を、前記複数の半導体膜を継続的に覆うように形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項20】

前記工程（b）において、前記発光ダイオード部を構成する半導体層の表面における前記半導体膜が形成されない領域に凹部を形成し、

前記工程（c）において、前記電極を、前記凹部の側面を覆うように形成することを特徴とする請求項19に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項21】

前記工程（b）よりも後に前記基板における前記発光ダイオード部の反対側の面から、前記基板に吸収されず且つ前記発光ダイオード部を構成する半導体層で吸収される波長を持つ光を照射することにより、前記ダイオード部から前記基板を分離する工程（d）をさらに備えていることを特徴とする請求項19～20のうちのいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項22】

前記工程（d）において、光が照射された前記半導体層の一部に該半導体層が熱分解されてなる分解層を形成することを特徴とする請求項21に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項23】

前記工程（d）よりも後に、前記発光ダイオード部又は前記半導体膜の上に金属膜を形成する工程（e）をさらに備えていることを特徴とする請求項21に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項24】

前記工程（b）は、前記半導体膜に不純物を添加する工程を含むことを特徴とする請求項19～23のうちのいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項25】

前記不純物は、イオン注入により添加されることを特徴とする請求項24に記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば白色発光ダイオードに適用可能な半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

窒化ガリウム（GaN）系III-V族窒化物半導体（InGaAlN）は、例えばGaNの室温における禁制帯幅が3.4eVであり、大きい禁制帯幅を有しているため、緑色又は青色、さらには紫外域の波長帯において高出力が可能な発光ダイオード素子を実現できる材料である。既に青色・緑色発光ダイオード素子として、各種表示パネル、大型ディスプレイ装置及び信号機等として実用化されている。

【0003】

また、YAG蛍光体を青色発光ダイオード素子からの発光光で励起することにより、白色光を得る白色発光ダイオード素子についても、既に液晶ディスプレイパネルのバックライトを始め、種々の用途で商品化されるに至っている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

さらに、高輝度化でき且つ発光効率を改善できれば、現状の蛍光灯及び白熱灯をこれと置き換える半導体照明装置の実現が可能であり、照明用白色発光ダイオード素子は、将来非常に大きな市場として予測されている。

【 0 0 0 5 】

ところで、照明用途では、輝度及び発光効率の向上に加えて、照明に使用した際の色の見え方、すなわち演色性を向上させることも重要である。

【 0 0 0 6 】

これまでに商品化されている白色発光ダイオード素子は、青色発光ダイオード素子からの約 470 nm での発光光により、YAG (イットリウムアルミニウムガーネット) 蛍光体を励起し黄色発光を得る方式であるため (例えば、非特許文献 1 を参照。)、発光スペクトルにおいて赤色の発光成分が少なく、その結果、演色性が従来の蛍光灯や白熱灯と比べても劣ることが課題となっている。

10

【 0 0 0 7 】

現状では、青色発光による励起によって励起効率が十分に高い赤色蛍光体が存在せず、演色性を向上させるのが困難である。従って、演色性を改善するには、特に赤色発光蛍光材料の高輝度化が必要となっている。

【 0 0 0 8 】

以下、従来の GaN 系青色発光ダイオード素子からの青色光と、該青色光により YAG 蛍光体を励起して出力される黄色光とを混合して白色光を得る白色発光ダイオード素子の構成及びその発光特性について図 36 を参照しながら説明する。

20

【 0 0 0 9 】

図 36 に示すように、白色発光ダイオード素子は、波長が 470 nm の青色光を出力する青色発光ダイオード素子 300 がパッケージ 310 上に実装され且つその上面及び側面を YAG 蛍光体を含む絶縁材 320 により覆われて形成されている。

【 0 0 1 0 】

青色発光ダイオード素子 300 は、その製造方法を説明すると、例えば有機金属気相成長 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition : MOCVD) 法により、サファイアからなる基板 301 の上に、n 型 GaN 層 302、InGaIn からなる活性層 303 及び p 型 GaN 層 304 を順次形成する。

30

【 0 0 1 1 】

次に、例えば塩素ガスにより p 型 GaN 層 304 及び活性層 303 に対してドライエッチングを行なって、n 型 GaN 層 302 の一部を選択的に露出する。続いて、露出した n 型 GaN 層 302 の上に、チタンと金との積層膜からなる n 側電極 305 を形成する。一方、p 型 GaN 層 304 の上には、ニッケルと金との積層膜からなり、活性層 303 からの発光光を透過するように厚さが 10 nm 以下とされた p 側透明電極 306 を形成する。

【 0 0 1 2 】

次に、p 側透明電極 306 の上に、金からなるパッド電極 307 を選択的に形成する。これにより、活性層 303 からの出力される青色光はその大部分が p 側透明電極 306 を透過する。

40

【 0 0 1 3 】

次に、ウエハ状態にある青色発光ダイオード素子 300 を、例えば 350 μm 角のチップ状に分割して、パッケージ 310 上の所定位置に実装した後、n 側電極及びパッド電極 307 に対してワイヤボンディングを行なう。続いて、青色発光ダイオード素子 300 を覆うようにその上に YAG 蛍光体を含む絶縁材 320 を塗布又は滴下して硬化させる。

【 0 0 1 4 】

このようにして得られた白色発光ダイオード素子の発光特性は、図 37 に示す通り、青色発光ダイオード素子 300 からの青色の発光光 300A と YAG 蛍光体 320 からの黄色の発光光 320A とが混合された白色光となる。

【非特許文献 1】S.Nakamura et. al., "The Blue Laser Diode", Springer-Verlag Berl

50

in Heidelberg New York: p.216

【特許文献1】特開2001-177145号公報

【特許文献2】特開2003-078165号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

しかしながら、前記従来の白色発光ダイオード素子は、図37に示す通り、青色発光ダイオード素子300のスペクトルに赤色の発光成分が少ないため、白色としての演色性に優れないという問題がある。

【0016】

本発明は、前記従来の問題に鑑み、演色性に優れたGaN系化合物半導体からなる白色発光ダイオード素子を実現できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0017】

前記の目的を達成するため、本発明は、青色光又は紫外光等の短波長の光を出力する発光ダイオード部に、該発光ダイオード部からの発光光により励起して緑色光又は赤色光等の長波長の光を放出する半導体層を設ける構成とする。

【0018】

また、他の構成として、本発明は、発光ダイオード部を構成するn型半導体層及びp型半導体層における該p型半導体層と接するように他のn型半導体層を設け、他のn型半導体層とp型半導体層との間はトンネル電流を流す構成とする。これにより、発光ダイオード部に用いられる透明電極を不要にすることができる。

【0019】

具体的に、本発明に係る第1の半導体発光素子は、第1の発光光を出力する発光ダイオード部と、発光ダイオード部に設けられ、第1の発光光を吸収して第2の発光光を放出する半導体膜とを備え、半導体膜は第2の発光光を第1の発光光による光励起によって放出することを特徴とする。

【0020】

第1の半導体発光素子によると、発光ダイオード部から出力される第1の発光光を青色とし、半導体膜から該青色の第1の発光光を吸収して赤色又は緑色の第2の発光光を放出させることが可能となるため、演色性に優れた白色発光ダイオード部を実現できる。

【0021】

第1の半導体発光素子は、発光ダイオード部に設けられ、第1の発光光又は第2の発光光を透過する透明電極をさらに備えていることが好ましい。このようにすると、発光ダイオード部に対して、該ダイオード素子を発光させるために注入する電流の注入効率を高めることができる。

【0022】

第1の半導体発光素子において、半導体膜は半導体発光素子の発光面上に部分的に形成されていることが好ましい。このようにすると、第1の発光光の一部が半導体膜に吸収される結果、第1の発光光の残部が第2の発光光に変換されることがないため、演色性に優れた白色光を確実に得ることができる。

【0023】

第1の半導体発光素子は、発光ダイオード部及び半導体膜を覆うと共に、第1の発光光を吸収して第3の発光光を放出する蛍光体をさらに備えていることが好ましい。このようにすると、蛍光体に例えばYAG蛍光体を用いた場合には、青色励起により高輝度の黄色発光が可能となるため、蛍光体からの黄色光と半導体膜からの高輝度の赤色光とを組み合わせることにより、演色性に優れた白色光を得ることができる。

【0024】

第1の半導体発光素子において、発光ダイオード部又は半導体膜は単結晶からなる基板上に形成されていることが好ましい。このようにすると、発光ダイオード部又は半導体膜

10

20

30

40

50

を単結晶からなる基板上にエピタキシャル成長により形成できるため、発光ダイオード部又は半導体膜の結晶性が向上するので、高輝度の白色発光ダイオードを実現できる。

【0025】

第1の半導体発光素子において、基板は第1の発光光及び第2の発光光を透過することが好ましい。このようにすると、第1の発光光及び第2の発光光を基板を通して取り出せるため、例えば、基板の上に発光ダイオード部及び半導体膜をこの順に形成した場合に、該半導体膜の上に第1の発光光及び第2の発光光に対して高反射率を持つ材料からなる電極を形成し、形成した電極をパッケージ面と対向させて実装する、いわゆるフリップチップ実装が可能となる。このため、放熱性に優れ且つ高輝度の白色発光ダイオード部を得ることができる。

10

【0026】

透明電極を備えている場合に、透明電極には複数の開口部が設けられ、半導体膜は発光ダイオード部における発光面上の各開口部に埋め込まれるように形成されていることが好ましい。このようにすると、半導体膜からの第2の発光光は透明電極を透過せずに取り出せるため、透明電極での光吸収による輝度の低下がなくなる。その上、半導体膜は発光ダイオード部と接しているため、第2の発光光も高輝度化される。

【0027】

この場合に、半導体膜は透明電極の各開口部にそれぞれ分割して形成されていることが好ましい。

【0028】

また、この場合に、半導体膜は透明電極上における各開口部の近傍を覆うように形成されていることが好ましい。

20

【0029】

また、第1の半導体発光素子において、半導体膜は透明電極上に位置する部分の結晶欠陥密度が各開口部上に位置する部分の結晶欠陥密度よりも小さい。

【0030】

このように、半導体膜又は発光ダイオード部が透明電極の各開口部から選択的に横方向成長して形成される場合には、半導体膜又は発光ダイオード部における透明電極上に位置する部分の結晶性が向上するため、より高輝度で発光する。

【0031】

第1の半導体発光素子において、第1の発光光は青色光又は紫外光であることが好ましい。

30

【0032】

この場合に、半導体膜は、第1の発光光により励起され、赤色の第2の発光光を放出することが好ましい。このようにすると、例えばYAG蛍光体を含む絶縁材により、半導体膜及び発光ダイオード部を覆うと、白色の演色性に優れた白色発光ダイオードを得ることができる。

【0033】

第1の半導体発光素子において、半導体膜は互いに波長が異なる発光光を放出する複数の半導体膜が積層されて形成されていることが好ましい。

40

【0034】

第1の半導体発光素子において、半導体膜は不純物が添加されており、該半導体膜は、第1の発光光により励起され、且つ不純物に起因するエネルギー準位を介して可視域の第2の発光光を放出することが好ましい。このようにすると、不純物が添加された半導体膜において、高輝度発光中心となり得る不純物の準位を介した高輝度発光を得ることができるため、第2の発光光の輝度を高めることができるので、演色性をより向上させることができる。

【0035】

また、第1の半導体発光素子において、半導体膜は不純物が添加されており、該半導体膜は、不純物における内殻電子を介した発光により可視域の前記第2の発光光を放出する

50

ことが好ましい。このようにすると、高効率の赤色発光を実現できるため、より演色性に優れた白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0036】

この場合に、不純物は、ユウロピウム、サマリウム又はイッテルビウムであることが好ましい。

【0037】

該不純物は半導体膜に対してイオン注入により添加されていることが好ましい。このようにすると、半導体膜に制御性良く不純物を添加することができる。

【0038】

第1の半導体発光素子において、発光ダイオード部又は半導体膜は窒素を含む化合物半導体により構成されていることが好ましい。このようにすると、第1の発光光に高輝度の青色光又は紫外光を且つ第2の発光光に高輝度の赤色光を確実に得ることができるため、演色性に優れた白色光を得ることができる。

10

【0039】

第1の半導体発光素子において、透明電極は膜厚が0nmより大きく且つ20nm以下の、ニッケルを含む導電膜又は酸化インジウム錫(ITO)により構成されていることが好ましい。このようにすると、透明電極自体における発光光の吸収が少なくなる。また、例えばニッケルは窒化物半導体層について良好なオーミックコンタクトを実現できるため、高輝度で且つ直列抵抗が小さい白色発光ダイオード部を実現できる。

【0040】

20

また、蛍光体を備えている場合に、該蛍光体はイットリウムアルミニウムガーネット(YAG)であることが好ましい。このようにすると、発光ダイオード部からの青色励起光により高輝度の黄色発光を得ることができ、例えば半導体膜からの赤色の第2の発光光と混合することにより、白色の演色性に優れた高輝度白色発光ダイオード部を実現することが可能となる。

【0041】

また、発光ダイオード部が単結晶からなる基板上に形成されている場合に、単結晶は、サファイア、炭化ケイ素、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化リチウムガリウム、酸化リチウムアルミニウム、又は酸化リチウムガリウムと酸化リチウムアルミニウムとの混晶を用いることができる。これらの単結晶を基板に用いると、該基板上に結晶性に優れる窒化物半導体層を形成できるため、第1の発光光として、より高輝度の青色又は紫外光を得られるので、該第1の発光光を励起光として高輝度で赤色の第2の発光光を得ることができる。

30

【0042】

第1の半導体発光素子は、発光ダイオード部に設けられ、膜厚が少なくとも10μmの金属膜をさらに備え、発光ダイオード部は金属膜を通して電流が注入されることが好ましい。このようにすると、動作時の発光ダイオード部から生じる発熱を金属膜を通して放熱できるため、放熱性に優れ且つ高出力動作が可能な白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0043】

40

この場合に、金属膜は金、銅又は銀により構成されていることが好ましい。

【0044】

また、第1の半導体発光素子において、発光ダイオード部は第1の発光光又は第2の発光光に対する反射率が60%以上である金属電極が設けられていることが好ましい。このようにすると、発光光の取り出し効率が格段に向上する。

【0045】

この場合に、金属電極は金、白金、銅、銀及びロジウムからなる群より選択される少なくとも1つの材料からなる単層膜又は多層膜により構成されていることが好ましい。

【0046】

本発明に係る第1の半導体発光素子の製造方法は、単結晶からなる基板上に、複数の半

50

導体層からなる発光ダイオード部を形成する工程(a)と、発光ダイオード部の上に、該発光ダイオード部が出力する第1の発光光を吸収し、吸収した第1の発光光による光励起によって第2の発光光を放出する半導体膜を選択的に形成する工程(b)とを備えていることを特徴とする。

【0047】

第1の半導体発光素子の製造方法によると、単結晶からなる基板上に形成した発光ダイオード部から出力される第1の発光光を青色とし、発光ダイオード部の上に選択的に形成した半導体膜からは青色の第1の発光光を吸収し、吸収した青色光による光励起によって赤色又は緑色の第2の発光光を放出させることが可能となるため、演色性に優れた白色発光ダイオード素子を実現できる。

10

【0048】

第1の半導体発光素子の製造方法は、工程(a)と工程(b)との間に又は工程(b)よりも後に、発光ダイオード部の上に、第1の発光光を透過する透明電極を形成する工程(c)をさらに備えていることが好ましい。

【0049】

この場合に、工程(c)は、透明電極に複数の開口部を設ける工程を含むことが好ましい。このようにすると、半導体膜からなる放出される第2の発光光が透明電極を透過せずに取り出せるため、透明電極での光吸収による輝度の低下がなくなるので、高輝度の白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0050】

また、この場合に、工程(b)において、半導体膜は発光ダイオード部の上面における透明電極の複数の開口部から露出する領域から選択的に成長するように形成することが好ましい。

20

【0051】

第1の半導体発光素子の製造方法は、工程(b)よりも後に、基板における発光ダイオード部の反対側の面から、基板に吸収されず且つ発光ダイオード部を構成する半導体層で吸収される波長を持つ光を照射することにより、ダイオード部から基板を分離する工程(d)をさらに備えていることが好ましい。このようにすると、例えば基板がサファイア等の放熱性が悪い材料で構成されている場合には、この基板を分離することにより放熱性に優れ大出力動作が可能な白色発光ダイオード素子を実現できる。

30

【0052】

この場合に、工程(d)において、光が照射された半導体層の一部に該半導体層が熱分解されてなる分解層を形成することが好ましい。このようにすると、基板と発光ダイオード部とを大面積で且つ再現性良く分離することができる。

【0053】

本発明に係る第2の半導体発光素子の製造方法は、単結晶からなる基板上に半導体膜を形成する工程(a)と、半導体膜の上に、複数の半導体層からなる発光ダイオード部を形成する工程(b)とを備え、半導体膜は発光ダイオード部が出力する第1の発光光を吸収し、吸収した第1の発光光による光励起によって第2の発光光を放出することを特徴とする。

40

【0054】

第2の半導体発光素子の製造方法によると、単結晶からなる基板上に半導体膜及び発光ダイオード部を形成し、例えば、発光ダイオード部から出力される第1の発光光を青色とし、半導体膜から青色の第1の発光光を吸収し、吸収した青色光による光励起によって赤色又は緑色の第2の発光光を放出させることが可能となるため、白色の演色性に優れた白色発光ダイオード部を実現できる。

【0055】

第2の半導体発光素子の製造方法は、工程(a)と工程(b)との間に、半導体膜の上に、第1の発光光を透過する透明電極を形成する工程(c)をさらに備えていることが好ましい。

50

【 0 0 5 6 】

この場合に、工程 (c) は、透明電極に複数の開口部を設ける工程を含むことが好ましい。

【 0 0 5 7 】

また、この場合に、工程 (b) において、複数の半導体層のうちの下層は、半導体膜の上面における透明電極の複数の開口部から露出する領域から選択的に成長するように形成することが好ましい。

【 0 0 5 8 】

第 2 の半導体発光素子の製造方法は、工程 (b) よりも後に、基板における半導体膜の反対側の面から、基板に吸収されず且つ半導体膜で吸収される波長を持つ光を照射することにより、半導体膜から基板を分離する工程 (d) をさらに備えていることが好ましい。

10

【 0 0 5 9 】

この場合に、工程 (d) において、光が照射された半導体層の一部に該半導体層が熱分解されてなる分解層を形成することが好ましい。

【 0 0 6 0 】

第 1 又は第 2 の半導体発光素子の製造方法は、工程 (d) よりも後に、発光ダイオード部又は半導体膜の上に金属膜を形成する工程 (e) をさらに備えていることが好ましい。

【 0 0 6 1 】

本発明に係る第 2 の半導体発光素子は、第 1 の n 型半導体層、p 型半導体層及び第 2 の n 型半導体層が順次形成されてなり、第 1 の発光光を出力する発光ダイオード部と、発光ダイオード部に設けられ、第 1 の発光光を吸収し、吸収した第 1 の発光光による光励起によって第 2 の発光光を放出する半導体膜とを備え、第 2 の半導体層が第 1 の n 型半導体層に対して正電位となるように電圧を印加された場合に、第 2 の n 型半導体層から第 1 の n 型半導体層に電流が流れることを特徴とする。

20

【 0 0 6 2 】

第 2 の半導体発光素子によると、発光ダイオード部から出力される第 1 の発光光を青色とし、半導体膜から青色の第 1 の発光光を吸収し、吸収した青色光による光励起によって赤色又は緑色の第 2 の発光光を放出させることが可能となるため、白色の演色性に優れた白色発光ダイオード素子を実現できる。その上、発光ダイオード部に動作電流を注入した場合には、p 型半導体層と第 2 の n 型半導体層とから形成される p^+n^+ 接合にはいわゆるトンネル電流が流れる構成を採るため、第 2 の n 型半導体層と第 1 の n 型半導体層との間に第 2 の n 型半導体層側が高い電圧を印加することにより整流性を示す。また、高濃度の第 2 の n 型半導体層は低抵抗であるため、pn 接合面の面内方向に電流が拡がりやすいので、透明電極を用いる必要がなくなり、発光光の輝度を上げることができる。

30

【 0 0 6 3 】

第 2 の半導体発光素子において、p 型半導体層及び第 2 の n 型半導体層の不純物濃度は 10^{18} cm^{-3} 以上であることが好ましい。このようにすると、p 型半導体層と第 2 の n 型半導体層との間の p^+n^+ 接合にトンネル電流をより確実に流すことができる。

【 0 0 6 4 】

第 2 の半導体発光素子は、発光ダイオード部及び半導体膜を覆い且つ第 1 の発光光を吸収して第 3 の発光光を放出する蛍光体をさらに備えていることが好ましい。このようにすると、蛍光体に例えば YAG 蛍光体を用いた場合には、第 3 の発光光を青色励起により高輝度の黄色光とすることが可能となるため、半導体薄膜からの高輝度で赤色の第 2 の発光光と組み合わせることにより、演色性に優れた白色発光ダイオード素子を実現することができる。

40

【 0 0 6 5 】

第 2 の半導体発光素子において、発光ダイオード部又は半導体膜は、単結晶からなる基板上に形成されていることが好ましい。このようにすると、発光ダイオード部及び半導体膜を単結晶からなる基板上にエピタキシャル成長により形成することができるため、第 1 の n 型半導体層、p 型半導体層、第 2 の n 型半導体層及び半導体膜の結晶性が向上するの

50

で、高輝度の白色発光ダイオード素子を得ることができる。さらに、半導体膜から放出される第2の発光光を基板を通して取り出せるため、例えば半導体膜側に高反射率の電極を形成するとフリップチップ実装が可能となるので、放熱性に優れた白色発光ダイオード素子を実現できる。

【0066】

第2の半導体発光素子は、発光ダイオード部に設けられ、膜厚が少なくとも10 μ mの金属膜をさらに備え、発光ダイオード部は金属膜を通して動作電流が注入されることが好ましい。このようにすると、動作時の発光ダイオード部から生じる発熱を金属膜を通して放熱できるため、放熱性に優れ且つ高出力動作が可能な白色発光ダイオード素子を得ることができる。

10

【0067】

この場合に、金属膜は金、銅又は銀により構成されていることが好ましい。

【0068】

第2の半導体発光素子において、発光ダイオード部は第1の発光光又は第2の発光光に対する反射率が60%以上である金属電極が設けられていることが好ましい。このようにすると、第1又は第2の発光光が金属電極により強く反射されるため、発光光の取り出し効率が格段に向上する。

【0069】

この場合に、金属電極は、金、白金、銅、銀及びロジウムからなる群より選択される少なくとも1つの材料からなる単層膜又は多層膜により構成されていることが好ましい。

20

【0070】

第2の半導体発光素子において、第1の発光光は青色光又は紫外光であることが好ましい。このようにすると、例えばYAG蛍光体を含む絶縁材で発光ダイオード部及び半導体膜を覆うことにより、白色の演色性に優れた白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0071】

第2の半導体発光素子において、第2の発光光は赤色光であることが好ましい。このようにすると、例えば、第1の発光光を青色とし且つYAG蛍光体を含む絶縁材で発光ダイオード部及び半導体膜を覆うことにより、白色の演色性に優れた白色発光ダイオード素子を得ることができる。

30

【0072】

第2の半導体発光素子において、半導体膜は互いに波長が異なる発光光を放出する複数の半導体膜が積層されて形成されていることが好ましい。このようにすると、複数からなる半導体膜を、例えば紫外光励起により赤色・緑色・青色の3色で発光する構成とすれば、白色の演色性に優れた白色発光ダイオード素子を実現できる。

【0073】

第2の半導体発光素子において、半導体膜は不純物が添加されており、該半導体膜は、第1の発光光により励起され、且つ不純物に起因するエネルギー準位を介して可視域の第2の発光光を放出することが好ましい。このようにすると、不純物が添加された半導体膜において、高輝度発光中心となり得る不純物の準位を介した高輝度発光を得ることができるため、第2の発光光の輝度を高めることができるので、演色性をより良好にできる。

40

【0074】

また、第2の半導体発光素子において、半導体膜は不純物が添加されており、該半導体膜は不純物における内殻電子を介した発光により可視域の前記第2の発光光を放出することが好ましい。このようにすると、高効率の赤色発光を実現できるため、より演色性に優れた白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0075】

この場合に、不純物は、ユウロピウム、サマリウム又はイッテルビウムであることが好ましい。

【0076】

50

吸収されず且つ発光ダイオード部を構成する半導体層で吸収される波長を持つ光を照射して、光が照射された半導体層の一部に該半導体層が分解してなる分解層を形成する工程を含むことが好ましい。このようにすると、基板と発光ダイオード部とを大面積で且つ再現性良く分離することができる。

【0085】

さらにこの場合に、第3の半導体発光素子の製造方法は、工程(c)よりも前に、発光ダイオード部又は半導体膜に、基板と異なる材料からなる保持基板を接着する工程(d)と、工程(c)の後に、保持基板を発光ダイオード部又は半導体膜から分離する工程(e)を備えていることが好ましい。このようにすると、工程(c)において、分解層の形成時に、熱分解によって半導体のストレスが緩和される過程における半導体膜に生じるクラックを抑制することができるため、面積が大きい基板を用いたとしても、発光ダイオード部にクラックを発生させることなく、基板を分離できる。

10

【発明の効果】

【0086】

本発明に係る第1の半導体発光素子及びその製造方法によると、発光ダイオード部から出力される第1の発光光により励起されて、該第1の発光光よりも波長が長い第2の発光光を放出する半導体膜を発光ダイオード部に設けるため、第1の発光光を青色光又は紫外光とすると、第2の発光光に赤色光、赤色・緑色光又は赤色・緑色・青色光を得ることができるので、発光スペクトルの赤色成分を多くでき、その結果、得られる白色光の演色性を向上することができる。

20

【0087】

本発明に係る第2の半導体発光素子及びその製造方法によると、第1の半導体発光素子及びその製造方法と同様の効果を得る上に、透明電極を用いる必要がなくなるため、発光輝度をさらに上げることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0088】

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0089】

図1(a)及び図1(b)は本発明の第1の実施形態に係る半導体発光素子であって、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。

30

【0090】

図1(a)及び(b)に示すように、第1の実施形態に係る半導体発光素子は、実装用部材であるパッケージ20上の所定の位置に実装された青色発光ダイオード部10と、該青色発光ダイオード部10の上にエピタキシャル成長してなる赤色発光層15と、イットリウムアルミニウムガーネット(YAG)蛍光体を含む絶縁材19とから構成されている。ここで、図1(b)においては、絶縁材19を省略している。

【0091】

青色発光ダイオード部10は、例えばサファイアからなる基板11の上に順次エピタキシャル成長したn型Ga_{0.95}Nからなるn型半導体層12と、InGa_{0.95}Nからなる多重量子井戸構造を有する活性層13と、p型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型半導体層14とから構成されている。活性層13は、厚さが2nmのIn_{0.35}Ga_{0.65}Nからなる井戸層と厚さが10nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる障壁層とが3重に多重化されて構成されている。これにより、活性層13からは470nmの青色発光を生じる。

40

【0092】

赤色発光層15は、例えば禁制帯幅が1.9eVであるアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなり、p型半導体層14の上に一辺が2µm~20µmの平面形状に分割され且つ互いに間隔をおいたマトリックス状に形成されている。各赤色発光層15は、青色発光ダイオード部10から出力される青色光により励起されて650nmの赤色光を発光

50

する。なお、赤色発光層 15 は、例えば亜鉛 (Zn)、マグネシウム (Mg) 又はシリコン (Si) をドーピングすることにより、In の組成を小さくしながら赤色発光を得ることができる。このように、In の組成を小さくすると、通常用いられる GaN からなる下地層との格子不整合を抑制でき、赤色発光層 15 の結晶欠陥を低減できるので、高輝度発光が可能となる。このとき、赤色発光層 15 から放出される発光光には、これらのドーピングされた不純物に起因するエネルギー準位を介して生成される可視領域の励起光が混合される。

【0093】

p 型半導体層 14 の上には、赤色発光層 15 を含む全面にわたって、ITO (酸化インジウム錫) からなる透明電極 16 が形成されており、さらに p 型半導体層 14 の一部の領域には透明電極 16 を介在させて、金 (Au) からなる p 側電極 17 が選択的に形成されている。

10

【0094】

n 型半導体層 12 はその一部が露出され、その露出領域上にはチタン (Ti) と金 (Au) との積層膜からなる n 側電極 18 が形成されている。

【0095】

なお、図示はされていないが、p 側電極 17 及び n 側電極 18 にはワイヤボンディングにより、必要な金属細線が接続される。

【0096】

YAG 蛍光体を含む絶縁材 19 は、パッケージ 20 上であって、青色発光ダイオード部 10、透明電極 16、p 側電極 17 及び n 側電極 18 を覆うように塗布又は滴下された後に硬化されて形成されており、青色発光ダイオード部 10 から出力される青色光により励起されて黄色光を発光する。

20

【0097】

透明電極 16 は青色発光ダイオード部 10 からの青色光を吸収せず且つ p 型半導体層 14 とのコンタクト抵抗が例えば $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 以下となるように成膜条件が最適化されている。

【0098】

青色発光ダイオード部 10 には、p 側電極 17、透明電極 16 及び p 型半導体層 14 を介して電流が注入され、例えば 3V 程度の比較的に低い電圧での動作が可能である。従って、青色発光ダイオード部 10 に例えば 20mA の電流を注入して、波長が 470nm の青色発光を生じさせることにより、図 2 に示すスペクトルを有する白色光を得ることができる。図 2 において、発光スペクトルは、波長が 470nm の青色光の透過分 10A と、ピーク波長が 550nm の YAG 蛍光体からの黄色発光 19A と、波長が 650nm の赤色発光層 15 からの赤色光 15A とにより構成され、これら青色光 10A、黄色光 19A 及び赤色光 15A が混合されて白色光となる。

30

【0099】

このように、第 1 の実施形態によると、黄色光を発光する YAG 蛍光体を含む絶縁材 19 と、青色光を発光する青色発光ダイオード部 10 との間に、該青色発光ダイオード部 10 が出力する青色光を受け、励起により赤色光を発光する赤色発光層 15 を設ける構成が 1 チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来の YAG 蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る、図 23 に示す白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

40

【0100】

なお、青色発光ダイオード部 10 は、サファイアからなる基板 11 と n 型半導体層 12 との間に、GaN からなる下地層及び GaN 又は AlN からなる薄膜バッファ層を介在させて形成してもよい。

【0101】

また、活性層 13 は In の組成が活性層 13 の面内方向 (基板面に平行な方向) に不均一な構成としてもよい。

50

【0102】

また、基板11の上に形成されたn型半導体層12、活性層13、p型半導体層14及び赤色半導体層15が格子定数を変化させずに、代わりに、四元以上の混晶としてIII族元素の組成を変化させて青色発光ダイオード部10及び赤色発光層15を形成することにより、格子不整合による結晶欠陥及びこれに起因する非発光再結合が生じることなく高輝度発光を得られる構成としてもよい。

【0103】

また、第1の実施形態においては、青色発光ダイオード部10からの出力光を受け、YAG蛍光体及び赤色発光層15がそれぞれ励起されて、黄色光及び赤色光を発光することにより白色光を得ているが、青色発光ダイオード部10に代えて、例えば波長が340nmの紫外光を出力する紫外発光ダイオード部を形成してもよい。但し、この場合には、絶縁材19には青色発光蛍光体と緑色発光蛍光体とを添加する。

10

【0104】

また、サファイアからなる基板11を青色発光ダイオード部10から分離して、分離した基板の代わりに金属膜を設けてもよい。このようにすると、設けられた金属膜をn側電極として使用できるため、n型半導体層12を露出してn側電極18を形成する必要がなくなる。

【0105】

また、透明電極16は、ITOに代えてニッケル(Ni)と金(Au)とが積層され透光性を有する積層膜としてもよい。

20

【0106】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0107】

図3(a)~図3(c)及び図4(a)~図4(c)は本発明の第1の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。なお、ここでは、複数の半導体発光素子を一度に形成可能なウェハにおける1つの素子形成領域のみを図示している。

【0108】

まず、図3(a)に示すように、有機金属気相成長(MOCVD)法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板11の上に、n型GaNからなるn型半導体層12、InGaNからなる多重量子井戸構造を有する活性層13、p型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型半導体層14及びアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなる赤色発光層15を順次成長する。前述したように、活性層13は、厚さが2nmのIn_{0.35}Ga_{0.65}Nからなる井戸層と厚さが10nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる障壁層とが3重に多重化されてなるが、発光波長が470nm程度であればこの構成に限られない。また、基板11とn型半導体層12との間に、GaNからなる下地層及びGaN又はAlNからなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、活性層13のInの組成を活性層13の面内方向(基板面に平行な方向)に不均一となるように形成してもよい。また、赤色発光層15はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドーピングしてInの組成を0.4よりも小さくしながら赤色発光を得られるようにしてもよい。

30

40

【0109】

次に、図3(b)に示すように、赤色発光層15の上に、例えば一辺が2μm~20μmで互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するニッケルからなる金属薄膜(図示せず)を形成する。続いて、形成した金属薄膜をマスクとして、例えば塩素(Cl₂)ガスを用いた誘導結合型プラズマ(Inductive Coupled Plasma:ICP)エッチングにより、赤色発光層15とp型半導体層14の上部とを選択的に除去する。ここで、赤色発光層15におけるp側電極形成領域の上側部分をも除去する。

【0110】

50

次に、図3(c)に示すように、マスク用の金属薄膜を除去した後、例えば高周波(RF)スパッタ法により、選択的に露出されたp型半導体層14及び平面方形の島状に分割された複数の赤色発光層15の上に、厚さが約300nmのITOからなり可視光を透過する透明電極16を形成する。続いて、透明電極16におけるn側電極形成領域の上側部分を、例えば塩化水素(HCl)水溶液によりウェットエッチングして除去し、その後、例えば温度が約600の酸素雰囲気中で熱処理を行なって、コンタクト抵抗の低減並びに透明電極16の抵抗率の低減及び透過率の向上を図る。

【0111】

次に、図4(a)に示すように、ICPEッチングにより、p型半導体層14及び活性層13におけるn側電極形成領域12aの上側部分を選択的に除去して、n型半導体層12におけるn側電極形成領域12aを露出する。

10

【0112】

次に、図4(b)に示すように、ドライエッチングの後に、例えばスパッタ法により、n型半導体層12の露出したn側電極形成領域12aの上にチタン(Ti)と金(Au)との積層膜からなるオーミック電極であるn側電極18を形成する。その後、n側電極18のコンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約550の窒素雰囲気中でシタを行なってもよい。続いて、例えばスパッタ法により、透明電極16におけるp側電極形成領域にp側電極パッドとなる、金(Au)からなるp側電極17を選択的に形成する。なお、n側電極18とp側電極17との形成順序は問われない。

【0113】

20

次に、図4(c)に示すように、p側電極17を形成した後、例えばダイシングにより、350μm角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀(Ag)ペーストを用いてパッケージ20上の所定領域に実装し、その後、p側電極17及びn側電極18に対してワイヤボンディングを行ない、さらにYAG蛍光体を含む絶縁材19をチップを覆うように塗布する。

【0114】

このように、第1の実施形態に係る製造方法によると、赤色発光層15とYAG蛍光体とを青色発光ダイオード部10からの青色光により励起する構成を1チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。従って、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度を高くできるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することが可能となる。

30

【0115】

(第2の実施形態)

以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0116】

図5は本発明の第2の実施形態に係る半導体発光素子の断面構成を示している。図5において、図1(a)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0117】

図5に示すように、p型半導体層14の上に赤色発光層15が選択的に形成された青色発光ダイオード部10は、赤色発光層15をパッケージ20の実装面と対向するように、いわゆるフリップチップ実装されている。

40

【0118】

p型半導体層14及び赤色発光層15は、白金(Pt)と金(Au)との積層膜からなるp側電極17及び銀からなる第1パンプ22によりパッケージ20のp側電極パッド(図示せず)と電気的に接続されており、一方、n側電極18は銀(Ag)からなる第2パンプ23により、パッケージ20のn側電極パッド(図示せず)と電気的に接続されている。赤色発光層15を含む青色発光ダイオード部10は、YAG蛍光体を含む絶縁材19により覆われている。

【0119】

50

このように、第2の実施形態に係る半導体発光素子は、活性層13からの青色光と、赤色発光層15からの青色光により励起されて発光される赤色光とは、サファイアからなる基板11を通して上方に放出される。また、前述したように、活性層13から出力される青色光はYAG蛍光体を励起し、励起されたYAG蛍光体は黄色光を発光する。

【0120】

従って、フリップチップ実装により、基板11側から出力光を取り出す構成であっても、青色発光ダイオード部10に赤色発光層15を設けたことにより、赤色領域における発光量を増大できるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現できる。

【0121】

その上、第2の実施形態においては、基板11側から出力光を取り出す構成であるため、p側半導体層14の表面に透明電極16を設ける必要がなくなる。

【0122】

(第3の実施形態)

以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0123】

図6(a)及び図6(b)は本発明の第3の実施形態に係る半導体発光素子であって、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。図6(a)及び(b)において、図1(a)及び(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0124】

図6(a)及び(b)に示すように、第3の実施形態に係る半導体発光素子は、実装用部材であるパッケージ20上の所定の位置に実装された青色発光ダイオード部10と、該青色発光ダイオード部10の上にエピタキシャル成長してなる赤色発光層15と、イットリウムアルミニウムガーネット(YAG)蛍光体を含む絶縁材19とから構成されている。

【0125】

第1の実施形態との相違点は、ITOからなる透明電極16が赤色発光層15を覆わずに、p型半導体層14の上面のみを覆う点である。従って、第3の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルは図2に示すパターンと同等のスペクトルパターンを示す。

【0126】

このように、赤色発光層15とYAG蛍光体とを青色発光ダイオード部10からの青色光により励起する構成が1チップの発光素子に集積化される。その結果、従来のYAG蛍光体を青色発光ダイオード素子からの出射光で励起することにより白色光を得る白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光量を増量できるため、白色の演色性に優れた白色発光ダイオード素子を実現することができる。その上、赤色発光層15が透明電極16で覆われない構成としているため、透明電極16により赤色光が吸収されなくなるので、より高い強度の赤色発光を得ることができる。その結果、より演色性に優れた白色発光ダイオード素子を実現することが可能となる。

【0127】

なお、平面方形で且つ島状の孤立パターンを持つ赤色発光層15のサイズは、透明電極16からp型半導体層14に注入される電流が活性層13に十分に拡がる程度のサイズに設定することが好ましい。

【0128】

また、第3の実施形態においても、青色発光ダイオード部10に代えて、例えば波長が340nmの紫外光を出力する紫外発光ダイオード部を形成してもよい。但し、この場合には、絶縁材19には青色発光蛍光体と緑色発光蛍光体とを添加する。

【0129】

また、サファイアからなる基板11を青色発光ダイオード部10から分離して、分離した基板の代わりに金属膜を設けてもよい。このようにすると、設けられた金属膜をn側電

10

20

30

40

50

極として使用できるため、n型半導体層12を露出してn側電極18を形成する必要がなくなる。

【0130】

また、透明電極16は、ITOに代えてニッケル(Ni)と金(Au)とが積層され透光性を有する積層膜としてもよい。また、NiとITOとの積層膜としてもよい。

【0131】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0132】

図7(a)~図7(d)及び図8(a)~図8(c)は本発明の第3の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

10

【0133】

まず、図7(a)に示すように、MOCVD法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板11の上に、n型GaNからなるn型半導体層12、InGaNからなる多重量子井戸構造を有する活性層13、p型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型半導体層14及びアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなる赤色発光層15を順次成長する。活性層13は、厚さが2nmのIn_{0.35}Ga_{0.65}Nからなる井戸層と厚さが10nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる障壁層とが3重に多重化されてなるが、発光波長が470nm程度であればこの構成に限られない。また、基板11とn型半導体層12との間に、GaNからなる下地層及びGaN又はAlNからなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、活性層13のInの組成を活性層13の面内方向(基板面に平行な方向)に不均一となるように形成してもよい。また、赤色発光層15はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドーピングしてInの組成を0.4よりも小さくしながら赤色発光を得られるようにしてもよい。

20

【0134】

次に、図7(b)に示すように、赤色発光層15の上に、例えば一辺が2μm~20μmで互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するレジスト膜51を形成する。続いて、形成したレジスト膜51をマスクとして、例えば塩素(Cl₂)ガスを用いたICPドライエッチングにより、赤色発光層15とp型半導体層14の上部とを選択的に除去する。ここで、赤色発光層15におけるp側電極形成領域の上側部分をも除去する。

30

【0135】

次に、図7(c)に示すように、例えば電子ビーム蒸着法により、平面方形の島状に分割された複数の赤色発光層15及びそれぞれの赤色発光層15を覆うレジスト膜51を含め、選択的に露出されたp型半導体層14の上に、厚さが約300nmのITOからなり可視光を透過する透明電極16を形成する。

【0136】

次に、図7(d)に示すように、レジスト膜51を除去する、いわゆるリフトオフ法により、p型半導体層14の上にのみ選択的に形成された透明電極16を得る。続いて、透明電極16におけるn側電極形成領域の上側部分を、例えば塩化水素(HCl)水溶液によりウェットエッチングして除去し、その後、例えば温度が約600の酸素雰囲気中で熱処理を行なって、コンタクト抵抗の低減並びに透明電極16の抵抗率の低減及び透過率の向上を図る。

40

【0137】

次に、図8(a)に示すように、ICPエッチングにより、p型半導体層14及び活性層13におけるn側電極形成領域12aの上側部分を選択的に除去して、n型半導体層12におけるn側電極形成領域12aを露出する。

【0138】

次に、図8(b)に示すように、ドライエッチングの後に、例えばスパッタ法により、n型半導体層12の露出したn側電極形成領域12aの上にチタン(Ti)と金(Au)との積層膜からなるオーミック電極であるn側電極18を形成する。その後、n側電極1

50

8のコンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約550の窒素雰囲気中でシタを行なってもよい。続いて、例えばスパッタ法により、透明電極16におけるp側電極形成領域にp側電極パッドとなる、金(Au)からなるp側電極17を選択的に形成する。なお、n側電極18とp側電極17との形成順序は問われない。

【0139】

次に、図8(c)に示すように、p側電極17を形成した後、例えばダイシングにより、350 μ m角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀(Ag)ペーストを用いてパッケージ20上の所定領域に実装し、その後、p側電極17及びn側電極18に対してワイヤボンディングを行ない、さらにYAG蛍光体を含む絶縁材19をチップを覆うように塗布する。

10

【0140】

このように、第3の実施形態に係る製造方法によると、赤色発光層15とYAG蛍光体とを青色発光ダイオード部10から出力される青色光により励起する構成を1チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。その結果、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度が高くなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することが可能となる。

【0141】

その上、赤色発光層15を透明電極16で覆わないため、透明電極16による赤色光の吸収がなくなるので、より高い強度の赤色発光を得ることができ、その結果、より演色性に優れた白色光を得ることができる。

20

【0142】

(第4の実施形態)

以下、本発明の第4の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0143】

図9(a)及び図9(b)は本発明の第4の実施形態に係る半導体発光素子であって、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。図9(a)及び(b)において、図1(a)及び(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0144】

図9(a)及び(b)に示すように、第4の実施形態に係る半導体発光素子は、青色発光ダイオード部10と、該青色発光ダイオード部10の上にエピタキシャル成長してなる緑色発光層24と、該緑色発光層24の上にエピタキシャル成長してなる赤色発光層15とから構成されている。

30

【0145】

第1の実施形態との相違点は、青色発光ダイオード部10から出射される波長が470nmの青色光により励起されて波長が555nmの緑色光を発光する $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ からなる緑色発光層24を設けることにより、青色発光ダイオード部10を覆って黄色光を発光するYAG蛍光体を含む絶縁材19を不要としている点である。

【0146】

なお、緑色発光層24及び赤色発光層15は、例えば亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)又はシリコン(Si)をドーピングすることにより、それぞれのInの組成を小さくしながら緑色光又は赤色光を得ることができる。このように、Inの組成を小さくすると、通常用いられるGaNからなる下地層との格子不整合を抑制でき、緑色発光層24及び赤色発光層15の結晶欠陥を低減できるので、高輝度発光が可能となる。

40

【0147】

ここで、青色発光ダイオード部10に例えば20mAの電流を注入して、波長が470nmの青色発光を生じさせることにより、図10に示すスペクトルを有する白色光を得ることができる。図10において、発光スペクトルは、波長が470nmの青色光の透過分10Aと、ピーク波長が555nmの緑色発光層24からの緑色発光24Aと、波長が650nmの赤色発光層15からの赤色光15Aとにより構成され、これら青色光10A、

50

緑色光 2 4 A 及び赤色光 1 5 A が混合されて白色光となる。

【 0 1 4 8 】

このように、第 4 の実施形態によると、青色発光ダイオード部 1 0 の上に、該青色発光ダイオード部 1 0 が出力する青色光を受け、受けた青色光による励起によって緑色光及び赤色光をそれぞれ発光する緑色発光層 2 4 及び赤色発光層 1 5 を設ける構成が 1 チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来の Y A G 蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る従来の白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

【 0 1 4 9 】

なお、第 4 の実施形態においては、青色発光ダイオード部 1 0 からの出力光を受け、緑色発光層 2 4 及び赤色発光層 1 5 がそれぞれ励起されて緑色光及び赤色光を発光することにより白色光を得ているが、青色発光ダイオード部 1 0 に代えて、例えば波長が 3 4 0 n m の紫外光を出力する紫外発光ダイオード部を形成してもよい。但し、この場合には、青色発光蛍光体を含む絶縁材により、該紫外発光ダイオード部を覆う構成とする。

【 0 1 5 0 】

また、サファイアからなる基板 1 1 を青色発光ダイオード部 1 0 から分離して、分離した基板の代わりに金属膜を設けてもよい。このようにすると、設けられた金属膜を n 側電極として使用できるため、n 型半導体層 1 2 を露出して n 側電極 1 8 を形成する必要がなくなる。

【 0 1 5 1 】

また、透明電極 1 6 は、ITO に代えてニッケル (N i) と金 (A u) とが積層され透光性を有する積層膜としてもよい。また、N i と I T O との積層膜としてもよい。

【 0 1 5 2 】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【 0 1 5 3 】

図 1 1 (a) ~ 図 1 1 (c)、図 1 2 (a) 及び図 1 2 (b) は本発明の第 4 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【 0 1 5 4 】

まず、図 1 1 (a) に示すように、MOCVD 法により、例えば主面の面方位が (0 0 0 1) 面であるサファイアからなる基板 1 1 の上に、n 型 Ga N からなる n 型半導体層 1 2、In Ga N からなる多重量子井戸構造を有する活性層 1 3、p 型 Al_{0.05}Ga_{0.95}N からなる p 型半導体層 1 4、アンドープの In_{0.2}Ga_{0.8}N からなる緑色発光層 2 4 及びアンドープの In_{0.4}Ga_{0.6}N からなる赤色発光層 1 5 を順次成長する。活性層 1 3 は、厚さが 2 nm の In_{0.35}Ga_{0.65}N からなる井戸層と厚さが 1 0 nm の In_{0.02}Ga_{0.98}N からなる障壁層とが 3 重に多重化されてなるが、発光波長が 4 7 0 nm 程度であればこの構成に限られない。ここで、緑色発光層 2 4 の禁制帯幅は 2 . 3 e V であり、5 5 5 nm の緑色光を発光する。赤色発光層 1 5 の禁制帯幅は 1 . 9 e V であり、6 5 0 nm の赤色光を発光する。また、基板 1 1 と n 型半導体層 1 2 との間に、Ga N からなる下地層及び Ga N 又は Al N からなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、緑色発光層 2 4 及び赤色発光層 1 5 はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドーピングして In の組成を 0 . 2 及び 0 . 4 よりもそれぞれ小さくしながら緑色発光及び赤色発光を得られるようにしてもよい。

【 0 1 5 5 】

次に、図 1 1 (b) に示すように、赤色発光層 1 5 の上に、例えば一辺が 2 μ m ~ 2 0 μ m で互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するニッケルからなる金属薄膜 (図示せず) を形成する。続いて、形成した金属薄膜をマスクとして、例えば塩素 (C l₂) ガスを用いた I C P エッチングにより、赤色発光層 1 5、緑色発光層 2 4 及び p 型半導体層 1 4 の上部を選択的に除去する。ここで、赤色発光層 1 5 及び緑色発光層 2 4 におけ

10

20

30

40

50

る p 側電極形成領域の上側部分をも除去する。

【 0 1 5 6 】

次に、図 1 1 (c) に示すように、金属薄膜を除去した後、例えば R F スパッタ法により、選択的に露出された p 型半導体層 1 4 及び平面方形の島状に分割された複数の赤色発光層 1 5 の上に、厚さが約 3 0 0 n m の I T O からなり可視光を透過する透明電極 1 6 を形成する。続いて、透明電極 1 6 における n 側電極形成領域の上側部分を、例えば塩化水素 (H C l) 水溶液によりウェットエッチングして除去し、その後、例えば温度が約 6 0 0 の酸素雰囲気中で熱処理を行なって、コンタクト抵抗の低減並びに透明電極 1 6 の抵抗率の低減及び透過率の向上を図る。

【 0 1 5 7 】

次に、図 1 2 (a) に示すように、I C P エッチングにより、p 型半導体層 1 4 及び活性層 1 3 における n 側電極形成領域 1 2 a の上側部分を選択的に除去して、n 型半導体層 1 2 における n 側電極形成領域 1 2 a を露出する。

【 0 1 5 8 】

次に、図 1 2 (b) に示すように、ドライエッチングの後に、例えばスパッタ法により、n 型半導体層 1 2 の露出した n 側電極形成領域 1 2 a の上にチタン (T i) と金 (A u) との積層膜からなるオーミック電極である n 側電極 1 8 を形成する。その後、n 側電極 1 8 のコンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約 5 5 0 の窒素雰囲気中でシンタを行なってもよい。続いて、例えばスパッタ法により、透明電極 1 6 における p 側電極形成領域に p 側電極パッドとなる、金 (A u) からなる p 側電極 1 7 を選択的に形成する。なお、n 側電極 1 8 と p 側電極 1 7 との形成順序は問われない。その後、例えばダイシングにより、3 5 0 μ m 角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割し、続いて、分割されたチップを例えば銀 (A g) ペーストを用いてパッケージ (図示せず) 上の所定領域に実装し、その後、p 側電極 1 7 及び n 側電極 1 8 に対してワイヤボンディングを行なう。

【 0 1 5 9 】

このように、第 4 の実施形態に係る製造方法によると、緑色発光層 2 4 及び赤色発光層 1 5 を青色発光ダイオード部 1 0 から出力される青色光により励起する構成を 1 チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。その結果、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度が高くなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

【 0 1 6 0 】

その上、Y A G 蛍光体を含む絶縁材を塗布する工程をなくすことができるため、製造プロセスを簡略化することができる。

【 0 1 6 1 】

(第 5 の実施形態)

以下、本発明の第 5 の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【 0 1 6 2 】

図 1 3 (a) 及び図 1 3 (b) は本発明の第 5 の実施形態に係る半導体発光素子であって、(a) は断面構成を示し、(b) は平面構成を示している。

【 0 1 6 3 】

図 1 3 (a) 及び (b) に示すように、第 5 の実施形態に係る半導体発光素子は、紫外発光ダイオード部 3 0 と、該紫外発光ダイオード部 3 0 の上にエピタキシャル成長してなる青色発光層 2 5、緑色発光層 2 4 及び赤色発光層 1 5 とから構成されている。

【 0 1 6 4 】

紫外発光ダイオード部 3 0 は、例えば n 型 $A l_{0.1} G a_{0.9} N$ からなる n 型半導体層 3 2 と、 $I n G a N / A l G a N$ からなる多重量子井戸構造を有する活性層 3 3 と、p 型 $A l_{0.15} G a_{0.85} N$ からなる p 型半導体層 3 4 とから構成されている。活性層 3 3 は、厚さが 1.5 n m の $I n_{0.02} G a_{0.98} N$ からなる井戸層と厚さが 1 0 n m の $A l_{0.15} G a_{0.85} N$ からなる障壁層とが 5 重に多重化されて構成されている。これにより、活性層 3 3 からは 3 4 0 n m の紫外発光を生じる。

10

20

30

40

50

【0165】

n型半導体層32の活性層33と反対側の面上には、その全面にチタン(Ti)と金(Au)との積層体からなるn側電極18が形成されている。また、n側電極18のn型半導体層32と反対側の面上にはその全面に厚さが10μm以上の、例えば約50μmの金(Au)めっき層31が形成されており、実質的なn側電極として機能する。ここで、n側電極18には、紫外光、青色光、緑色光及び赤色光に対する反射率が60%以上である材料を用いることが好ましく、例えば、金(Au)、白金(Pt)、銅(Cu)、銀(Ag)又はロジウム(Rh)の単層膜若しくはこれらのうち少なくとも2つを含む多層膜を用いることができる。また、金めっき層31には、金(Au)に代えて、銅(Cu)又は銀(Ag)を用いることができる。

10

【0166】

青色発光層25は、例えば禁制帯幅が2.6eVであるアンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなり、p型半導体層34の上に互いに間隔をおいた複数の島状に形成されている。緑色発光層24は、例えば禁制帯幅が2.2eVであるアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}Nからなり、青色発光層25の上に該青色発光層25と同一の平面形状となるように形成されている。赤色発光層15は、例えば禁制帯幅が1.9eVであるアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなり、緑色発光層24の上に該緑色発光層24と同一の平面形状となるように形成されている。青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15は、紫外発光ダイオード部30から出力される紫外光により励起されて、波長が470nmの青色光、555nmの緑色光及び650nmの赤色光をそれぞれ発光する。なお、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15は、例えば亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)又はシリコン(Si)をドープすることにより、それぞれのInの組成を小さくしながら、青色発光、緑色発光及び赤色発光を得ることができる。このように、Inの組成を小さくすると、通常用いられるGaNからなる下地層との格子不整合を抑制でき、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15の結晶欠陥を低減できるので、高輝度発光が可能となる。

20

【0167】

p型半導体層34の上には、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15を含む全面にわたって、ITOからなる透明電極16が形成されており、さらにp型半導体層34の上の一部の領域には透明電極16を介在させて、金(Au)からなるp側電極17が形成されている。

30

【0168】

紫外発光ダイオード部30には、p側電極17、透明電極16及びp型半導体層34を介して電流が注入され、例えば3V程度の比較的低い電圧での動作が可能である。従って、紫外発光ダイオード部30に例えば20mAの電流を注入して、波長が340nmの紫外発光を生じさせることにより、図14に示すスペクトルを有する白色光を得ることができる。図14において、発光スペクトルは、波長が340nmで強度が小さい紫外光の透過分30Aと、ピーク波長が470nmの青色発光層25からの青色光25Aと、ピーク波長が555nmの緑色発光層24からの緑色光24Aと、波長が650nmの赤色発光層15からの赤色光15Aとにより構成され、これら青色光25A、緑色光24A及び赤色光15Aが混合されて白色光となる。

40

【0169】

第5の実施形態の特徴として、エピタキシャル成長用のサファイアからなる基板を除去して、n型半導体層32における活性層33の反対側の面(裏面)の全面にn側電極18を形成し、さらに、金めっき層31を設けている。これにより、紫外発光ダイオード部30における放熱性が著しく向上するため、より高出力の白色発光ダイオード素子を実現できる。その上、n側電極18とp側電極17とは活性層33を挟んで互いに対向するため、n側電極18及びp側電極17における電極間の直列抵抗を小さくできる。また、サファイア等の絶縁性基板を除去しているため、n型半導体層32の上部にn側電極18を設ける必要がなくなるので、チップサイズを縮小することができる。また、n型半導体層3

50

2をp型半導体層34側からエッチングして除去する工程をもなくすことができる。

【0170】

このように、第5の実施形態によると、紫外発光ダイオード部30の上に、該紫外発光ダイオード部30が出力する紫外光を受け、受けた紫外光の励起によって青色光、緑色光及び赤色光をそれぞれ発光する青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15を設ける構成が1チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来のYAG蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る従来の白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

10

【0171】

その上、放熱性が良好ではないサファイアからなる基板を除去し、代わりに放熱性に優れた金めっき層31を設けているため、より高出力で且つ演色性に優れた白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0172】

なお、紫外発光ダイオード部30を、第4の実施形態のような青色発光ダイオード部10に置き換えた場合には、青色発光層25を設ける必要はない。

【0173】

また、透明電極16は、ITOに代えてニッケル(Ni)と金(Au)とが積層され透光性を有する積層膜としてもよい。また、NiとITOとの積層膜としてもよい。

20

【0174】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0175】

図15(a)~図15(e)及び図16(a)~図16(c)は本発明の第5の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0176】

まず、図15(a)に示すように、MOCVD法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板11の上に、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるn型半導体層32、InGa_N/AlGa_Nからなる多重量子井戸構造を有する活性層33、p型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなるp型半導体層34、アンドープの $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる青色発光層25、アンドープの $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ からなる緑色発光層24及びアンドープの $In_{0.4}Ga_{0.6}N$ からなる赤色発光層15を順次成長する。活性層33は、厚さが1.5nmの $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ からなる井戸層と厚さが10nmの $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる障壁層とが5重に多重化されてなるが、発光波長が340nm程度であればこの構成に限られない。ここで、青色発光層25の禁制帯幅は2.6eVであり、470nmの青色光を発光する。緑色発光層24の禁制帯幅は2.3eVであり、555nmの緑色光を発光する。赤色発光層15の禁制帯幅は1.9eVであり、650nmの赤色光を発光する。また、基板11とn型半導体層32との間に、GaNからなる下地層及びGaN又はAlNからなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドープしてInの組成を0.15、0.2及び0.4よりもそれぞれ小さくしながら青色発光、緑色発光及び赤色発光を得られるようにしてもよい。

30

40

【0177】

次に、図15(b)に示すように、赤色発光層15の上に、例えば一辺が2µm~20µmで互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するニッケルからなる金属薄膜(図示せず)を形成する。続いて、形成した金属薄膜をマスクとして、例えば塩素(Cl₂)ガスを用いたICPEッチングにより、赤色発光層15、緑色発光層24、青色発光層25及びp型半導体層34の上部を選択的に除去する。ここで、赤色発光層15、緑色発

50

光層 2 4 及び青色発光層 2 5 における p 側電極形成領域の上側部分をも除去する。

【 0 1 7 8 】

次に、図 1 5 (c) に示すように、金属薄膜を除去した後、例えば R F スパッタ法により、選択的に露出された p 型半導体層 1 4 及び平面方形の島状に分割された複数の赤色発光層 1 5 の上に、厚さが約 3 0 0 n m の I T O からなり可視光を透過する透明電極 1 6 を形成する。続いて、例えば温度が約 6 0 0 の酸素雰囲気中で熱処理を行なって、コンタクト抵抗の低減並びに透明電極 1 6 の抵抗率の低減及び透過率の向上を図る。

【 0 1 7 9 】

次に、図 1 5 (d) に示すように、例えばスパッタ法により、透明電極 1 6 における p 側電極形成領域に p 側電極パッドとなる、金 (A u) からなる p 側電極 1 7 を選択的に形成する。

10

【 0 1 8 0 】

次に、図 1 5 (e) に示すように、p 側電極 1 7 を形成した後、シリコンからなる保持基板 5 2 を、p 側電極 1 7 を含む透明電極 1 6 と例えばエポキシ系の接着剤 5 3 を用いて貼り合わせる。なお、保持基板 5 2 はシリコンに限られず、高分子フィルムを用いてもよい。

【 0 1 8 1 】

次に、図 1 6 (a) に示すように、基板 1 1 における保持基板 5 2 の反対側の面から、基板 1 1 に吸収されず且つ n 型半導体層 3 2 で吸収される、例えば波長が 3 5 5 n m である Y A G レーザの第 3 次高調波光又は波長が 2 4 8 n m の K r F エキシマレーザ光であって、高出力且つ短波長のパルスレーザ光を基板 1 1 の面内でスキャンしながら照射する。このとき、照射されたレーザ光は、基板 1 1 と n 型半導体層 3 2 との界面及びその近傍において $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなる n 型半導体層 3 2 に吸収される。その結果、n 型半導体層 3 2 における基板 1 1 との界面の近傍部分がレーザ光の吸収により加熱されて例えば温度が 9 0 0 以上になると、その部分の n 型半導体層 3 2 が金属ガリウム (G a) 、金属アルミニウム (A l) 及び窒素 (N ₂) ガスに分解され、その結果分解層が形成される。なお、分解層を形成するレーザ光に Y A G レーザを用いる場合には、Y A G レーザ光の吸収が促進されるように、基板 1 1 と n 型半導体層 3 2 との間に窒化ガリウム (G a N) からなる半導体薄膜を挿入し、挿入した半導体薄膜に Y A G レーザ光を照射して分解層を形成する。

20

30

【 0 1 8 2 】

次に、分解層が形成された基板 1 1 をガリウムの融点である 2 9 以上まで加熱するか、又は塩化水素 (H C l) 水溶液中に浸して、分解層のうちの金属ガリウムを溶融するか除去することにより、n 型半導体層 3 2 から基板 1 1 を分離する。その後、例えば電子ビーム蒸着法により、基板 1 1 が分離され除去された露出面上にチタン (T i) と金 (A u) との積層膜からなる n 側電極 1 8 を形成する。続いて、電解めっき法により、n 側電極 1 8 の金 (A u) 層を下地として、厚さが約 5 0 μ m の金めっき層 3 1 を形成して、図 1 6 (b) に示す構造を得る。

【 0 1 8 3 】

次に、図 1 6 (c) に示すように、例えばアセトンにより接着剤 5 3 を除去して、保持基板 5 2 を除去し、その後、例えばダイシングにより、3 5 0 μ m 角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀 (A g) ペーストを用いてパッケージ (図示せず) 上の所定領域に実装し、その後、p 側電極 1 7 に対してワイヤボンディングを行なって、白色発光ダイオード素子を得る。

40

【 0 1 8 4 】

このように、第 5 の実施形態に係る製造方法によると、青色発光層 2 5 、緑色発光層 2 4 及び赤色発光層 1 5 を紫外発光ダイオード部 3 0 から出力される紫外光により励起する構成を 1 チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。その結果、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度が高くなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

50

【 0 1 8 5 】

その上、YAG蛍光体を含む絶縁材を塗布する工程をなくすことができるため、製造プロセスを簡略化することができる。また、放熱性に優れたサファイア基板11を除去し、代わりに放熱性に優れた金めっき層31を設けているため、高出力化を図ることができる。

【 0 1 8 6 】

(第6の実施形態)

以下、本発明の第6の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【 0 1 8 7 】

図17(a)及び図17(b)は本発明の第6の実施形態に係る半導体発光素子であって、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。図17(a)及び(b)において、図13(a)及び(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

10

【 0 1 8 8 】

第6の実施形態に係る半導体発光素子は、第5の実施形態に係る半導体発光素子と同様に、紫外発光ダイオード部30と、その上に形成された青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15とから構成される点は同一であるが、透明電極16がp型半導体層34の上に平面形状の複数の開口部16aを有するように形成され、青色発光層25が、複数の開口部16aを有する透明電極16を選択成長用のマスクとしてエピタキシャル成長している点が異なる。従って、第6の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルは図14に示すパターンと同等のスペクトルパターンを示す。

20

【 0 1 8 9 】

紫外発光ダイオード部30への電流注入は、パターニングされて選択成長用のマスクとして用いられる透明電極16とp型半導体層34とを介して行なわれる。

【 0 1 9 0 】

第6の実施形態においては、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15の面積を大きくできるため、白色光の強度を高めることができる。

【 0 1 9 1 】

その上、選択成長用のマスクである透明電極16上において横方向、すなわち透明電極16の上面に平行な方向に成長した部分は結晶性が改善される結果、結晶転位密度が小さく、紫外発光ダイオード部30から出力される紫外光による励起によって高輝度の可視発光を得ることができる。

30

【 0 1 9 2 】

また、エピタキシャル成長用のサファイアからなる基板を除去して、n型半導体層32における活性層33の反対側の面(裏面)の全面にn側電極18を形成し、さらに、金めっき層31を設けている。これにより、紫外発光ダイオード部30における放熱性が著しく向上するため、より高出力の白色発光ダイオード素子を実現できる。その上、n側電極18とp側電極17とは活性層33を挟んで互いに対向するため、n側電極18及びp側電極17の両電極間の直列抵抗を小さくすることができる。また、サファイア等の絶縁性基板を除去しているため、n型半導体層32の上部にn側電極18を設ける必要がなくなるので、チップサイズを縮小することができる。また、n型半導体層32をp型半導体層34側からエッチングして除去する工程をもなくすことができる。

40

【 0 1 9 3 】

このように、第6の実施形態によると、紫外発光ダイオード部30の上に、該紫外発光ダイオード部30が出力する紫外光を受け、受けた紫外光の励起によって青色光、緑色光及び赤色光をそれぞれ発光する青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15を設ける構成が1チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来のYAG蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る従来の白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる

50

【0194】

その上、放熱性が良好ではないサファイアからなる基板を除去し、代わりに放熱性に優れる金めっき層31を設けているため、より高出力で且つ演色性に優れた白色発光ダイオード素子を得ることができる。

【0195】

なお、紫外発光ダイオード部30を、第4の実施形態のような青色発光ダイオード部10に置き換えた場合には、青色発光層25を設ける必要はない。

【0196】

また、透明電極16は、ITOに代えてニッケル(Ni)と金(Au)とが積層され透光性を有する積層膜としてもよい。また、NiとITOとの積層膜としてもよい。

10

【0197】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0198】

図18(a)~図18(d)及び図19(a)~図19(c)は本発明の第6の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0199】

まず、図18(a)に示すように、MOCVD法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板11の上に、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるn型半導体層32、InGa $N/AlGa$ Nからなる多重量子井戸構造を有する活性層33及びp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなるp型半導体層34を順次成長する。活性層33は、厚さが1.5nmの $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ からなる井戸層と厚さが10nmの $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる障壁層とが5重に多重化されてなるが、発光波長が340nm程度であればこの構成に限られない。続いて、例えばRFスパッタ法により、p型半導体層34の上に、厚さが約300nmのITOからなる透明電極16を形成し、その後、例えばフッ化水素酸(HF)水溶液を用いて、透明電極16に例えば一辺が2 μ m~20 μ mの平面形状の複数の開口部16aを形成する。その後、例えば温度が約600の酸素雰囲気中で熱処理を行なって、コンタクト抵抗の低減並びに透明電極16の抵抗率の低減及び透過率の向上を図る。

20

30

【0200】

次に、図18(b)に示すように、MOCVD法により、複数の開口部16aが形成された透明電極16をマスクとして、p型半導体層34の上に、アンドープの $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる青色発光層25、アンドープの $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ からなる緑色発光層24及びアンドープの $In_{0.4}Ga_{0.6}N$ からなる赤色発光層15を順次成長する。このとき、透明電極16に設ける開口部16aの開口寸法は、例えば青色発光層25における開口部16aの上側部分に結晶欠陥が生じやすいため、青色発光層25が平坦に成長できる範囲において、可能な限り小さい方が好ましい。ここで、青色発光層25の禁制帯幅は2.6eVであり、470nmの青色光を発光する。緑色発光層24の禁制帯幅は2.3eVであり、555nmの緑色光を発光する。赤色発光層15の禁制帯幅は1.9eVであり、650nmの赤色光を発光する。また、基板11とn型半導体層32との間に、Ga N からなる下地層及びGa N 又はAl N からなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドーピングしてInの組成を0.15、0.2及び0.4よりもそれぞれ小さくしながら青色発光、緑色発光及び赤色発光を得られるようにしてもよい。

40

【0201】

次に、図18(c)に示すように、例えばスパッタ法により、透明電極16上におけるp側電極形成領域にp側電極パッドとなる、金(Au)からなるp側電極17を選択的に形成する。

50

【0202】

次に、図18(d)に示すように、p側電極17を形成した後、シリコンからなる保持基板52を、p側電極17を含む透明電極16及び赤色発光層15と例えばエポキシ系の接着剤53を用いて貼り合わせる。なお、保持基板52はシリコンに限られず、高分子フィルムを用いてもよい。

【0203】

次に、図19(a)に示すように、基板11における保持基板52の反対側の面から、例えば、波長が355nmであるYAGレーザの第3次高調波光又は波長が248nmのKrFエキシマレーザ光のように、高出力且つ短波長のパルスレーザ光を基板面内でスキャンしながら照射する。このとき、照射されたレーザ光は、基板11とn型半導体層32との界面及びその近傍においてAl_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型半導体層32に吸収される。その結果、n型半導体層32における基板11との界面の近傍部分がレーザ光の吸収により加熱されて例えば温度が900℃以上になると、その部分のn型半導体層32が金属ガリウム(Ga)、金属アルミニウム(Al)及び窒素(N₂)ガスに分解され、その結果分解層が形成される。なお、分解層を形成するレーザ光にYAGレーザを用いる場合には、YAGレーザ光の吸収が促進されるように、基板11とn型半導体層32との間に窒化ガリウム(GaN)からなる半導体薄膜を挿入し、挿入した半導体薄膜にYAGレーザ光を照射して分解層を形成する。

10

【0204】

次に、分解層が形成された基板11をガリウムの融点である29℃以上にまで加熱するか、又は塩化水素(HCl)水溶液中に浸して、分解層のうちの金属ガリウムを溶融するか除去することにより、n型半導体層32から基板11を分離する。その後、例えば電子ビーム蒸着法により、基板11が分離され除去された露出面上にチタン(Ti)と金(Au)との積層膜からなるn側電極18を形成する。続いて、電解めっき法により、n側電極18の金(Au)層を下地として、厚さが約50μmの金めっき層31を形成して、図19(b)に示す構造を得る。

20

【0205】

次に、図19(c)に示すように、例えばアセトンにより接着剤53を除去して、保持基板52を除去し、その後、例えばダイシングにより、350μm角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀(Ag)ペーストを用いてパッケージ(図示せず)上の所定領域に実装し、その後、p側電極17に対してワイヤボンディングを行なって、白色発光ダイオード素子を得る。

30

【0206】

このように、第6の実施形態に係る製造方法によると、青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15を紫外発光ダイオード部30から出力される紫外光により励起する構成を1チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。その結果、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度が高くなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

【0207】

その上、透明電極16が青色発光層25、緑色発光層24及び赤色発光層15を覆わないため、青色光、緑色光及び赤色光の各発光輝度が高くなる。

40

【0208】

また、YAG蛍光体を含む絶縁材を塗布する工程をなくすることができるため、製造プロセスを簡略化することができる。また、放熱性に優れたサファイア基板11を除去し、代わりに放熱性に優れた金めっき層31を設けているため、高出力化を図ることができる。

【0209】

また、第5及び第6の実施形態において、サファイアからなる基板11を分離する際に高出力短波長パルスレーザ光を照射する分離法を説明したが、レーザ照射による分離法に限らない。例えば、サファイアからなる基板11に代えて、シリコン(Si)又はヒ化ガ

50

リウム (GaAs) からなる基板 11 を用いて、酸によるウェットエッチングにより該基板 11 を分離して除去するようにしてもよい。

【0210】

(第7の実施形態)

以下、本発明の第7の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0211】

図20及び図21は本発明の第7の実施形態に係る半導体発光素子であって、図20は断面構成を示し、図21は電極側から見た平面構成を示している。図20及び図21において、図1(a)及び図1(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

10

【0212】

第7の実施形態に係る半導体発光素子は、第1の実施形態に係る半導体発光素子と同様に、青色発光ダイオード部10と、該青色発光ダイオード部10の上にエピタキシャル成長してなる赤色発光層15と、イットリウムアルミニウムガーネット(YAG)蛍光体を含む絶縁材19とから構成されている。ここでも、図21においては、絶縁材19を省略している。

【0213】

第7の実施形態に係る半導体発光素子は、第1の実施形態に係る半導体発光素子におけるアンドープのInGaNからなる赤色発光層15を、アンドープの $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ からなる赤色発光Euドープ層150としている点が異なる。

20

【0214】

赤色発光Euドープ層150は、エピタキシャル成長後のAlGaN層に、例えば、加速電圧が約200keVで、ドーズ量が約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の注入条件により、ユウロピウム(Eu)イオンをイオン注入することにより形成されている。この注入条件により、図22に示すように、赤色発光Euドープ層150におけるEuの濃度プロファイルは、AlGaN層の表面から75nm程度の深さに $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のピークを持つ比較的浅いプロファイルとなる。但し、加速電圧及びドーズ量を調節することにより、Euの濃度プロファイルを変更できることはいうまでもない。

【0215】

赤色発光Euドープ層150は、可視光又は紫外光を受けることにより、添加されたEu原子における内殻電子が励起され、励起状態から基底状態に戻る際に波長が622nmの赤色光を放出する。なお、Euイオンの注入ドーズ量を増やすことにより、赤色励起光の発光強度を高めることができる。

30

【0216】

赤色発光Euドープ層150を構成する半導体はAlGaNに限られず、GaNを用いてもよい。さらには、 $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ と $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ とを対とする多重量子井戸構造を持つ半導体層を用いてもよい。

【0217】

また、Euの半導体層への添加方法は、エピタキシャル成長後にイオン注入する方法に限られず、エピタキシャル成長中にEuを添加してもよい。

40

【0218】

青色発光ダイオード部10に例えば20mAの電流を注入して、波長が470nmの青色発光を生じさせることにより、図23に示すスペクトルを有する白色光を得ることができる。図23において、発光スペクトルは、波長が470nmの青色光の透過分10Aと、ピーク波長が550nmのYAG蛍光体からの黄色発光19Aと、波長が622nmの赤色発光Euドープ層150からの赤色光150Aとにより構成され、これら青色光10A、黄色光19A及び赤色光150Aが混合されて白色光となる。

【0219】

このように、第7の実施形態によると、赤色発光Euドープ層150及び絶縁材19に含まれるYAG蛍光体を青色発光ダイオード部10からの出力光によりそれぞれ励起して

50

白色光を得る発光ダイオード素子を1チップ化することができる。従って、第7の実施形態に係る半導体発光素子は、YAG蛍光体を青色発光ダイオード部からの出力光により励起する従来の白色発光ダイオード素子と比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力することができる。

【0220】

なお、第5の実施形態のように、青色発光ダイオード部10に代えて、波長が340nmの紫外光を出力する紫外発光ダイオード部30を設け、この紫外光によって、青色発光蛍光体、緑色発光蛍光体及び赤色発光Euドープ層150をそれぞれ励起して白色光を得る構成としてもよい。

【0221】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0222】

図24(a)~図24(d)及び図25(a)~図25(c)は本発明の第7の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0223】

まず、図24(a)に示すように、第1の実施形態と同様に、有機金属気相成長(MOCVD)法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板11の上に、n型GaNからなるn型半導体層12、InGaNからなる多重量子井戸構造を有する活性層13、p型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型半導体層14及びアンドープのAl_{0.5}Ga_{0.5}N層150Bを順次成長する。n型半導体層12、活性層13及びp型半導体層14は、電流注入により例えば波長が470nmの青色光を発光する構成である。

【0224】

次に、図24(b)に示すように、成長したAl_{0.5}Ga_{0.5}N層150Bに対して、ユウロピウム(Eu)イオンを、例えば加速電圧が約200keVで、ドーズ量が約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の注入条件によりイオン注入する。ここでは、Euイオンの注入時に基板11を約500程度にまで加熱することが好ましい。この注入条件により、図22に示したように、Al_{0.5}Ga_{0.5}N層150Bに注入されたEuイオンの濃度プロファイルは、該Al_{0.5}Ga_{0.5}N層150Bの表面から75nmの深さにピークを持つ。続いて、イオン注入の後に、Euイオンの活性化を図るために、約1000の窒素雰囲気中でアニールを施して、Al_{0.5}Ga_{0.5}N層150Bから赤色発光Euドープ層150を得る。前述したように、赤色発光Euドープ層150からは、可視光又は紫外光により励起されて波長が622nmの赤色光を発光する。

【0225】

次に、図24(c)に示すように、赤色発光Euドープ層150の上に、互いに間隔をおいた複数の方形パターンからなる金属マスク(図示せず)を用いて、例えば塩素(Cl₂)ガスを用いたICPEッチングにより、赤色発光Euドープ層150とp型半導体層14の上部とを選択的に除去する。ここで、赤色発光Euドープ層150におけるp側電極形成領域の上側部分をも除去する。

【0226】

次に、図24(d)に示すように、金属マスクを除去した後、例えば高周波(RF)スパッタ法により、選択的に露出されたp型半導体層14及び平面方形の島状に分割された複数の赤色発光Euドープ層150の上に、厚さが約300nmのITOからなり可視光を透過する透明電極16を形成する。続いて、透明電極16におけるn側電極形成領域の上側部分を、例えば塩化水素(HCl)水溶液によりウェットエッチングして除去し、その後、例えば温度が約600の酸素雰囲気中で熱処理を行なって、コンタクト抵抗の低減並びに透明電極16の抵抗率の低減及び透過率の向上を図る。

【0227】

次に、図25(a)に示すように、ICPEッチングにより、p型半導体層14及び活

10

20

30

40

50

性層 13 における n 側電極形成領域 12 a の上側部分を選択的に除去して、n 型半導体層 12 における n 側電極形成領域 12 a を露出する。

【0228】

次に、図 25 (b) に示すように、ドライエッチングの後に、例えばスパッタ法により、n 型半導体層 12 の露出した n 側電極形成領域 12 a の上にチタン (Ti) と金 (Au) との積層膜からなるオーミック電極である n 側電極 18 を形成する。その後、n 側電極 18 のコンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約 550 の窒素雰囲気で行なってもよい。続いて、例えばスパッタ法により、透明電極 16 上における p 側電極形成領域に p 側電極パッドとなる、金 (Au) からなる p 側電極 17 を選択的に形成する。

10

【0229】

次に、図 25 (c) に示すように、例えばダイシングにより、350 μm 角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀 (Ag) ペーストを用いてパッケージ 20 上の所定領域に実装し、その後、p 側電極 17 及び n 側電極 18 に対してワイヤボンディングを行ない、さらに YAG 蛍光体を含む絶縁材 19 をチップを覆うように塗布する。

【0230】

このように、第 7 の実施形態に係る製造方法によると、赤色発光 Eu ドープ層 150 と YAG 蛍光体とを青色発光ダイオード部 10 からの青色光により励起する構成を 1 チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。従って、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度を高くできるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

20

【0231】

なお、第 7 の実施形態において、赤色発光 Eu ドープ層 150 には、発光中心となる元素としてユウロピウム (Eu) を添加したが、Eu に限られず、サマリウム (Sm) 又はイッテルビウム (Yb) を用いてもよい。

【0232】

また、第 1 ~ 第 7 の実施形態においては、エピタキシャル成長用基板として用いたサファイアの主面の面方位は特に限定されない。例えば、サファイアを用いる場合には、(0001) 面等の代表的 (典型的) な面方位からずれたオフアングルを持つ面方位を採用してもよい。

30

【0233】

また、エピタキシャル成長用基板は、サファイアに限られず、炭化ケイ素 (SiC)、酸化亜鉛 (ZnO)、シリコン (Si)、ヒ化ガリウム (GaAs)、燐化ガリウム (GaP)、燐化インジウム (InP)、窒化ガリウム (GaN)、窒化アルミニウム (AlN)、酸化マグネシウム (MgO) 又は酸化リチウムアルミニウムガリウム ($LiAl_xGa_{1-x}O_2$ (但し、 $0 < x < 1$)) を用いることができる。

【0234】

また、n 型半導体層 12 及び 32、活性層 13 及び 33 並びに p 型半導体層 14 及び 34 の組成、さらには赤色発光層 15 等の励起による発光層の組成は、各実施形態に示した組成に限られない。また、結晶成長方法は MOCVD 法に限られず、例えば、分子線エピタキシ (Molecular Beam Epitaxy: MBE) 法又はハイドライド VPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy: HVPE) 法を用いた半導体層を含んでもよい。また、各半導体層には、ヒ素 (As) 又は燐 (P) 等の V 族元素や、硼素 (B) 等の III 族元素を構成元素として含む構成としてもよい。

40

【0235】

(第 8 の実施形態)

本発明の第 8 の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0236】

図 26 (a) 及び図 26 (b) は本発明の第 8 の実施形態に係る半導体発光素子であっ

50

て、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。

【0237】

図26(a)及び(b)に示すように、第8の実施形態に係る半導体発光素子は、実装用部材であるパッケージ120上の所定の位置に実装された青色発光ダイオード部110と、該青色発光ダイオード部110の上にエピタキシャル成長してなる赤色発光層116と、イットリウムアルミニウムガーネット(YAG)蛍光体を含む絶縁材119とから構成されている。ここで、図26(b)は、絶縁材119を省略して図示している。

【0238】

青色発光ダイオード部110は、例えばサファイアからなる基板111の上に順次エピタキシャル成長したn型GaNからなるn型半導体層112と、InGaNからなる多重量子井戸構造を有する活性層113と、p⁺型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp⁺型半導体層114と、n⁺型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるn⁺型半導体層115とから構成されている。活性層113は、厚さが2nmのIn_{0.35}Ga_{0.65}Nからなる井戸層と厚さが10nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる障壁層とが3重に多重化されて構成されている。これにより、活性層113からは470nmの青色発光を生じる。

【0239】

赤色発光層116は、例えば禁制帯幅が1.9eVであるアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなり、n⁺型半導体層115の上に一辺が2μm~20μmの平面形状に分割され且つ互いに間隔をおいたマトリックス状に形成されている。各赤色発光層116は、青色発光ダイオード部110から出力される青色光により励起されて650nmの赤色光を発光する。なお、赤色発光層116は、例えば亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)又はシリコン(Si)をドーピングすることにより、Inの組成を小さくしながら赤色発光を得ることができる。このように、Inの組成を小さくすると、通常用いられるGaNからなる下地層との格子不整合を抑制でき、赤色発光層116の結晶欠陥を低減できるので、高輝度発光が可能となる。このとき、赤色発光層116から放出される発光光は、ドーピングされた不純物に起因するエネルギー準位を介して生成される可視光であり、この可視光に青色励起光が混合される。

【0240】

このように、第8の実施形態に係る半導体発光素子には、青色発光ダイオード部110のp⁺型半導体層114の上にn⁺型半導体層115が形成されており、p⁺型半導体層114とn⁺型半導体層115とによってp⁺n⁺接合が形成されている。

【0241】

本願明細書においては、p⁺半導体層(p型高濃度半導体層)とは、p型ドーパントである例えばマグネシウム(Mg)の濃度が $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 程度であるp型半導体層をいい、n⁺半導体層(n型高濃度半導体層)とは、n型ドーパントである例えばシリコン(Si)の濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるn型半導体層をいう。

【0242】

但し、本発明は、p⁺型半導体層114及びn⁺型半導体層115の不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上で有れば効果を得ることができる。

【0243】

青色発光ダイオード部110のn型半導体層112とn⁺型半導体層115との間に、n⁺型半導体層115に対してn型半導体層112に印加する電圧よりも高い電圧を印加すると、p⁺n⁺接合に生じるトンネル電流により、低抵抗のオーミック特性に近い電圧電流特性を示すため、通常のpn接合同様の整流特性を得ることができる。

【0244】

ここで、図27(a)にトンネル接合(n⁺pn接合)を有する場合の電流-電圧特性を通常のpn接合と比較した結果を示し、図27(b)にトンネル接合(n⁺pn接合)を有する場合の電流光出力特性を通常のpn接合と比較した結果を示す。図27(a)及び(b)において、実線がトンネル接合を有する場合を表わし、破線がトンネル接合を有

10

20

30

40

50

さない場合を表わしている。図 27 (a) から分かるように、立ち上がりの動作電圧は通常の p n 接合の場合と比べて高くなるものの、図 27 (b) から分かるように、光出力は、注入電流の値が同一であれば、トンネル接合を有する場合の方が大きくなる。

【 0 2 4 5 】

その上、従来のような活性層の上に p 型半導体層を設ける構成の場合には、一般に高抵抗な p 型半導体層上には大面積の透明電極が必要となるが、第 8 の実施形態に係る半導体発光素子は、p⁺型半導体 114 上に低抵抗の n⁺型半導体層 115 を設けているため、n⁺型半導体層 115 上に透明電極を設けなくても横方向（基板に平行な方向）にも注入電流が十分に拡がるようになる。これにより、透明電極を設ける必要がなくなるため、n 型半導体層 112 と n⁺型半導体層 115 とに設ける後述のオーミック電極の組成を同一の組成にできるので、同一プロセスで形成できるようになり、半導体発光素子における製造プロセスを大幅に簡略化することができる。

10

【 0 2 4 6 】

n⁺型半導体層 115 上の一部の領域には、チタン (T i)、アルミニウム (A l)、ニッケル (N i) 及び金 (A u) が順次積層された積層膜からなるオーミック性の第 1 の n 側電極 117 が選択的に形成されている。

【 0 2 4 7 】

n 型半導体層 112 はその一部が露出され、その露出領域上にはチタン (T i)、アルミニウム (A l)、ニッケル (N i) 及び金 (A u) が順次積層された積層膜からなるオーミック性の第 2 の n 側電極 118 が形成されている。なお、図示はされていないが、第 1 の n 側電極 117 及び第 2 の n 側電極 118 にはワイヤボンディングにより、必要な金属細線が接続される。

20

【 0 2 4 8 】

Y A G 蛍光体を含む絶縁材 119 は、パッケージ 120 上であって、青色発光ダイオード部 110、赤色発光層 116、第 1 の n 側電極 117 及び第 2 の n 側電極 118 を覆うように塗布又は滴下された後に硬化されて形成されており、青色発光ダイオード部 110 から出力される青色光により励起されて黄色光を発光する。

【 0 2 4 9 】

青色発光ダイオード部 110 には、第 1 の n 側電極 117、n⁺型半導体層 115 及び p 型半導体 114 を介して電流が注入される。従って、青色発光ダイオード部 110 に例えば 20 m A の電流を注入して、波長が 470 n m の青色発光を生じさせることにより、図 28 に示すスペクトルを有する白色光を得ることができる。図 28 において、発光スペクトルは、波長が 470 n m の青色光の透過分 110 A と、ピーク波長が 550 n m の Y A G 蛍光体からの黄色発光 119 A と、波長が 650 n m の赤色発光層 116 からの赤色光 116 A とにより構成され、これら青色光 110 A、黄色光 119 A 及び赤色光 116 A が混合されて白色光となる。

30

【 0 2 5 0 】

このように、第 8 の実施形態によると、黄色光を発光する Y A G 蛍光体を含む絶縁材 119 と、青色光を発光する青色発光ダイオード部 110 との間に、該青色発光ダイオード部 110 が出力する青色光を受け、励起により赤色光を発光する赤色発光層 116 を設ける構成が 1 チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来の Y A G 蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る、図 37 に示す白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

40

【 0 2 5 1 】

その上、青色発光ダイオード部 110 に動作電流を注入した場合に、p⁺型半導体 114 と n⁺型半導体層 115 とから形成される p⁺ n⁺ 接合にはいわゆるトンネル電流が流れるため、n⁺型半導体層 115 と n 型半導体層 112 との間に n⁺型半導体層 115 側が高い電圧を印加することにより整流性を示す。また、n⁺型半導体層 115 は低抵抗で

50

あるため、該 n^+ 型半導体層 115 内の面内方向に注入電流が拡がりやすくなる。これにより、従来のような透明電極を用いる必要がなくなるので、発光光の輝度を上げることができる。

【0252】

なお、青色発光ダイオード部 110 は、サファイアからなる基板 111 と n 型半導体層 112 との間に、 GaN からなる下地層及び GaN 又は AlN からなる薄膜バッファ層を介在させて形成してもよい。

【0253】

また、第 8 の実施形態においては、赤色発光層 116 は平面方形の島状にパターニングしているが、必ずしもパターニングする必要はなく、例えば赤色発光層 116 を n^+ 型半導体層 115 の上面における第 1 の n 側電極 117 の形成領域を除く全面に形成してもよい。但し、赤色発光層 116 を全面的に形成する場合は、該赤色発光層 116 の面積を出力光の演色性が最も良好となる値に最適化する。

【0254】

また、活性層 113 は In の組成が活性層 113 の面内方向（基板面に平行な方向）に不均一な構成としてもよい。

【0255】

また、基板 111 の上に形成された n 型半導体層 112、活性層 113、 p^+ 型半導体 114、 n^+ 型半導体層 115 及び赤色発光層 116 の格子定数を変化させずに、代わりに、四元以上の混晶とし、III 族元素の組成を変化させて青色発光ダイオード部 110 及び赤色発光層 116 を形成することにより、格子不整合による結晶欠陥及びこれに起因する非発光再結合が生じることなく高輝度発光を得られる構成としてもよい。

【0256】

また、第 8 の実施形態においては、青色発光ダイオード部 110 からの出力光を受け、 YAG 蛍光体及び赤色発光層 116 がそれぞれ励起されて、黄色光及び赤色光を発光することにより白色光を得ているが、青色発光ダイオード部 110 に代えて、例えば波長が 340nm の紫外光を出力する紫外発光ダイオード部を形成してもよい。但し、この場合には、絶縁材 119 には青色発光蛍光体と緑色発光蛍光体とを添加する。

【0257】

また、サファイアからなる基板 111 を青色発光ダイオード部 110 から分離して、分離した基板の代わりに金属膜を設けてもよい。このようにすると、設けられた金属膜を n 側電極として使用できるため、 n 型半導体層 112 を露出して第 2 の n 側電極 118 を形成する必要がなくなる。

【0258】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0259】

図 29(a) ~ 図 29(e) は本発明の第 8 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。なお、ここでは、複数の半導体発光素子を一度に形成可能なウェハにおける 1 つの素子形成領域のみを図示している。

【0260】

まず、図 29(a) に示すように、有機金属気相成長 (MOCVD) 法により、例えば主面の面方位が (0001) 面であるサファイアからなる基板 111 の上に、 n 型 GaN からなる n 型半導体層 112、 $InGaN$ からなる多重量子井戸構造を有する活性層 113、 p^+ 型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなる p^+ 型半導体 114、 n^+ 型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなる n^+ 型半導体層 115 及びアンドープの $In_{0.4}Ga_{0.6}N$ からなる赤色発光層 116 を順次成長する。ここで、前述したように、 p^+ 型半導体 114 と n^+ 型半導体層 115 とから形成される p^+n^+ 接合は、トンネル電流により低抵抗のオーミック特性に近い電流電圧特性を示す。また、活性層 113 は、厚さが 2nm の $In_{0.35}Ga_{0.65}N$ からなる井戸層と厚さが 10nm の $In_{0.02}Ga_{0.9}$

10

20

30

40

50

8 Nからなる障壁層とが3重に多重化されてなるが、発光波長が470 nm程度であればこの構成に限られない。また、基板111とn型半導体層112との間に、GaNからなる下地層及びGaN又はAlNからなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、活性層113のInの組成を活性層113の面内方向(基板面に平行な方向)に不均一となるように形成してもよい。また、赤色発光層116はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドープしてInの組成を0.4よりも小さくしながら赤色発光を得られるようにしてもよい。

【0261】

次に、図29(b)に示すように、赤色発光層116の上に、例えば一辺が2 μ m~20 μ mで互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するニッケルからなる金属薄膜(図示せず)を形成する。続いて、形成した金属薄膜をマスクとして、例えば塩素(Cl₂)ガスを用いた誘導結合型プラズマ(Inductive Coupled Plasma:ICP)エッチングにより、赤色発光層116とn⁺型半導体層115の上部とを選択的に除去する。ここで、赤色発光層116における第1のn側電極形成領域の上側部分をも除去する。

10

【0262】

次に、図29(c)に示すように、ICPエッチングにより、n⁺型半導体層115、p⁺型半導体114及び活性層113における第2のn側電極形成領域112aの上側部分を選択的に除去して、n型半導体層112における第2のn側電極形成領域112aを露出する。

20

【0263】

次に、図29(d)に示すように、ドライエッチングの後に、リソグラフィ法により、第2のn側電極形成領域112aと、n⁺型半導体層115における第1のn側電極形成領域とに開口パターンを有するレジスト膜(図示せず)を形成し、続いて、例えば電子ビーム蒸着法により、形成したレジスト膜の上に全面にわたって、Ti、Al、Ni及びAuとの積層膜からなる電極形成膜を形成する。その後、レジスト膜を除去する、いわゆるリフトオフ法により、電極形成膜からオーミック電極である第1のn側電極117及び第2のn側電極118を一括に形成する。ここで、第1のn側電極117及び第2のn側電極118の各コンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約550の窒素雰囲気で行なってもよい。

30

【0264】

次に、図29(e)に示すように、第1のn側電極117及び第2のn側電極118を形成した後、例えばダイシングにより、350 μ m角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀(Ag)ペーストを用いてパッケージ120上の所定領域に実装し、その後、第1のn側電極117及び第2のn側電極118に対してワイヤボンディングを行ない、さらにYAG蛍光体を含む絶縁材119をチップを覆うように塗布する。

40

【0265】

このように、第8の実施形態に係る製造方法によると、赤色発光層116とYAG蛍光体とを青色発光ダイオード部110からの青色光によりそれぞれ励起する構成を1チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。従って、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度を高くできるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することが可能となる。

40

【0266】

その上、窒化物からなるn⁺型半導体層115は、窒化物からなるp型半導体層又はp⁺型半導体層と比べて不純物準位が浅く低抵抗化が可能であるため、横方向(基板面に平行な方向)の電流の拡がり十分に大きいので、従来例に示すような透明電極を設ける必要がない。従って、製造プロセスが簡単化されるだけでなく、透明電極を設けた場合に生じる透明電極での発光光の吸収もなくなるので、高輝度の白色発光ダイオード素子を実現することができる。

【0267】

50

さらに、オーミック電極である第1のn側電極117及び第2のn側電極118の組成が、従来例のようにp側電極とn側電極とで異ならず同一であり、従って、同一工程で一括に形成可能となるため、製造プロセスが単純化されるので、より低コストで製造が可能となる。

【0268】

なお、第8の実施形態においては、半導体発光素子からの出力光をn⁺型半導体層115側から取り出す構造としたが、赤色発光層116及びn⁺型半導体層115の上に、例えば下層に白金(Pt)、ロジウム(Rh)又は銀(Ag)を用い、上層に金(Au)を用いた積層膜からなる高反射率電極を形成し、さらに高反射率電極をパッケージ120との間に銀バンプ等を介在させた状態でパッケージ120の上面に実装する、いわゆるフリップチップ実装を行なってもよい。フリップチップ実装を行なうと、出力光がサファイアからなる基板111を透過して取り出されるため、高輝度な白色発光ダイオード素子を実現することができる。

10

【0269】

(第9の実施形態)

以下、本発明の第9の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0270】

図30(a)及び図30(b)は本発明の第9の実施形態に係る半導体発光素子であって、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。図30(a)及び(b)において、図26(a)及び(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

20

【0271】

図30(a)及び(b)に示すように、第9の実施形態に係る半導体発光素子は、紫外発光ダイオード部130と、該紫外発光ダイオード部130の上にエピタキシャル成長してなる青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116とから構成されている。

【0272】

第8の実施形態との相違点は、発光ダイオード部を青色発光ダイオード部110から紫外発光ダイオード部130に代えて、該紫外発光ダイオード部130から出力される波長が340nmの紫外光によりそれぞれ励起されて、波長が470nmの青色光を発光する青色発光層121と、波長が555nmの緑色光を発光する緑色発光層122とを新たに設けることにより、紫外発光ダイオード部130を覆うYAG蛍光体を含む絶縁材119を不要としている点である。

30

【0273】

紫外発光ダイオード部130は、例えばn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型半導体132と、InGa_{0.15}N/AlGa_{0.85}Nからなる多重量子井戸構造を有する活性層133と、p⁺型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるp⁺型半導体層134と、n⁺型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるn⁺型半導体層135とから構成されている。活性層133は、厚さが1.5nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる井戸層と厚さが10nmのAl_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる障壁層とが5重に多重化されて構成されている。これにより、活性層133からは340nmの紫外発光を生じる。

40

【0274】

青色発光層121は、例えば禁制帯幅が2.6eVであるアンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなり、n⁺型半導体層135の上に互いに間隔をおいた複数の島状に形成されている。緑色発光層122は、例えば禁制帯幅が2.2eVであるアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}Nからなり、青色発光層121の上に該青色発光層121と同一の平面形状となるように形成されている。赤色発光層116は、例えば禁制帯幅が1.9eVであるアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなり、緑色発光層122の上に該緑色発光層122と同一の平面形状となるように形成されている。青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116は、紫外発光ダイオード部130から出力される紫外光に

50

より励起されて、波長が470nmの青色光、555nmの緑色光及び650nmの赤色光をそれぞれ発光する。なお、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116は、例えば亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)又はシリコン(Si)をドーピングすることにより、それぞれのInの組成を小さくしながら、青色発光、緑色発光及び赤色発光を得ることができる。このように、Inの組成を小さくすると、通常用いられるGaNからなる下地層との格子不整合を抑制でき、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116の結晶欠陥を低減できるので、高輝度発光が可能となる。

【0275】

紫外発光ダイオード部130のn型半導体132とn⁺型半導体層135との間に、n⁺型半導体層135に対してn型半導体132に印加する電圧よりも高い電圧を印加すると、第8の実施形態で説明したように、p⁺n⁺接合に生じるトンネル電流により、低抵抗のオーミック特性に近い電圧電流特性を示すため、通常のpn接合と同様の整流特性を得ることができる。その上、n⁺型半導体層135の上に透明電極を設けなくても横方向(基板に平行な方向)にも注入電流が十分に拡がるため、後述するように、n⁺型半導体層135に設ける第1のn側電極117とn型半導体132に設ける第2のn側電極118とを同一の組成で形成できる。従って、第1のn側電極117と第2のn側電極118とを1つの工程で形成できるようになり、半導体発光素子における製造プロセスを大幅に簡略化することができる。

10

【0276】

紫外発光ダイオード部130には、第1のn側電極117、n⁺型半導体層135及びp⁺型半導体層134を介して電流が注入される。従って、紫外発光ダイオード部130に例えば20mAの電流を注入して、波長が340nmの紫外発光を生じさせることにより、図31に示すスペクトルを有する白色光を得ることができる。図31において、発光スペクトルは、波長が340nmで強度が小さい紫外光の透過分130Aと、ピーク波長が470nmの青色発光層121からの青色光121Aと、ピーク波長が555nmの緑色発光層122からの緑色光122Aと、波長が650nmの赤色発光層116からの赤色光116Aとにより構成され、これら青色光121A、緑色光122A及び赤色光116Aが混合されて白色光となる。

20

【0277】

このように、第9の実施形態によると、紫外発光ダイオード部130の上に、該紫外発光ダイオード部130が出力する紫外光を受け、受けた紫外光の励起によって青色光、緑色光及び赤色光をそれぞれ発光する青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116を設ける構成が1チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来のYAG蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る従来の白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

30

【0278】

その上、紫外発光ダイオード部130に動作電流を注入した場合に、p⁺型半導体層134とn⁺型半導体層135とから形成されるp⁺n⁺接合にはいわゆるトンネル電流が流れるため、n⁺型半導体層135とn型半導体132との間にn⁺型半導体層135側が高い電圧を印加することにより整流性を示す。また、n⁺型半導体層135は不純物準位が浅く低抵抗化が可能であるため、該n⁺型半導体層135内の面内方向に注入電流が拡がりやすくなる。これにより、従来のような透明電極を用いる必要がなくなるので、発光光の輝度を上げることができる。また、YAG蛍光体を含む絶縁材が不要となるため、透明電極及びYAG蛍光体を含む絶縁材の形成工程を省けるので、製造プロセスを簡略化することができる。

40

【0279】

なお、赤色発光層116及び緑色発光層122は、励起光が透過しやすいように、十分な発光を得られる限りは可能な限りそれぞれの厚さを薄くすることが好ましい。

50

【0280】

また、紫外発光ダイオード部130は、サファイアからなる基板111とn型半導体132との間に、Ga_{0.95}Nからなる下地層及びGa_{0.95}N又はAl_{0.05}Nからなる薄膜バッファ層を介在させて形成してもよい。

【0281】

また、第9の実施形態においては、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116をそれぞれ平面方形の島状にパターンニングしているが、必ずしもパターンニングする必要はなく、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116をn⁺型半導体層135の上面における第1のn側電極117の形成領域を除く全面に形成してもよい。但し、各発光層121、122、116を全面的に形成する場合は、各発光層の面積を出力光の演色性が最も良好となる値に最適化する。

10

【0282】

また、紫外発光ダイオード部130を、第8の実施形態のような青色発光ダイオード部110に置き換えた場合には、青色発光層121を設ける必要はない。

【0283】

また、サファイアからなる基板111を紫外発光ダイオード部130から分離して、分離した基板に代えて金属膜を設けてもよい。このようにすると、設けられた金属膜をn側電極として使用できるため、n型半導体132を露出して第2のn側電極118を形成する必要がなくなる。

【0284】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

20

【0285】

図32(a)~図32(d)は本発明の第9の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0286】

まず、図32(a)に示すように、MOCVD法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板111の上に、n型Ga_{0.95}Nからなるn型半導体132、InGa_{0.95}Nからなる多重量子井戸構造を有する活性層133、p⁺型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp⁺型半導体層134、n⁺型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるn⁺型半導体層135、アンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる青色発光層121、アンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる緑色発光層122及びアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなる赤色発光層116を順次成長する。ここで、前述したように、p⁺型半導体層134とn⁺型半導体層135とから形成されるp⁺n⁺接合は、トンネル電流により低抵抗のオーミック特性に近い電流電圧特性を示す。また、活性層133は、厚さが1.5nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる井戸層と厚さが10nmのAl_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる障壁層とが5重に多重化されてなるが、発光波長が340nm程度であればこの構成に限られない。ここで、青色発光層121の禁制帯幅は2.6eVであり、470nmの青色光を発光する。緑色発光層122の禁制帯幅は2.3eVであり、555nmの緑色光を発光する。赤色発光層116の禁制帯幅は1.9eVであり、650nmの赤色光を発光する。また、基板111とn型半導体132との間に、Ga_{0.95}Nからなる下地層及びGa_{0.95}N又はAl_{0.05}Nからなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、活性層133のInの組成を活性層133の面内方向(基板面に平行な方向)に不均一となるように形成してもよい。また、赤色発光層116はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドーピングしてInの組成を0.4よりも小さくしながら赤色発光を得られるようにしてもよい。

30

40

【0287】

次に、図32(b)に示すように、赤色発光層116の上に、例えば一辺が2μm~20μmで互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するニッケルからなる金属薄膜(図示せず)を形成する。続いて、形成した金属薄膜をマスクとして、例えば塩素(Cl

50

2) ガスを用いたICPエッチングにより、赤色発光層116、緑色発光層122、青色発光層121及びn⁺型半導体層135の上部を選択的に除去する。ここで、赤色発光層116、緑色発光層122及び青色発光層121における第1のn側電極形成領域の上側部分をも除去する。

【0288】

次に、図32(c)に示すように、ICPエッチングにより、n⁺型半導体層135、p⁺型半導体層134及び活性層133における第2のn側電極形成領域132aの上側部分を選択的に除去して、n型半導体132における第2のn側電極形成領域132aを露出する。

【0289】

次に、図32(d)に示すように、ドライエッチングの後に、リソグラフィ法により、第2のn側電極形成領域132aと、n⁺型半導体層135における第1のn側電極形成領域とに開口パターンを有するレジスト膜(図示せず)を形成し、続いて、例えば電子ビーム蒸着法により、形成したレジスト膜の上に全面にわたって、Ti、Al、Ni及びAuとの積層膜からなる電極形成膜を形成する。その後、レジスト膜を除去する、いわゆるリフトオフ法により、電極形成膜からオーミック電極である第1のn側電極117及び第2のn側電極118を形成する。ここで、第1のn側電極117及び第2のn側電極118の各コンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約550の窒素雰囲気で行なってもよい。続いて、例えばダイシングにより、350μm角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割し、さらに、分割されたチップを例えば銀(Ag)ペーストを用いてパッケージ120上の所定領域に実装する。その後、第1のn側電極117及び第2のn側電極118に対してワイヤボンディングを行なう。

【0290】

このように、第9の実施形態に係る製造方法によると、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116を紫外発光ダイオード部130からの紫外光によりそれぞれ励起する構成を1チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。従って、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度を高くできるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することが可能となる。

【0291】

その上、窒化物からなるn⁺型半導体層135は、窒化物からなるp型半導体層又はp⁺型半導体層と比べて不純物準位が浅く低抵抗化が可能であるため、横方向(基板面に平行な方向)の電流の拡がり十分に大きいので、従来例に示すような透明電極を設ける必要がない。従って、製造プロセスが簡単化されるだけでなく、透明電極を設けた場合に生じる透明電極での発光光の吸収もなくなるので、高輝度の白色発光ダイオード素子を実現することができる。

【0292】

また、第9の実施形態に係る製造方法は、YAG蛍光体を含む絶縁材を設ける工程が不要となる上に、オーミック電極である第1のn側電極117及び第2のn側電極118の組成が同一であることから、同一の工程で形成可能となるため、製造プロセスがさらに簡単化されるので、より低コストで製造が可能となる。

【0293】

なお、第9の実施形態においても、第8の実施形態で説明したような高反射率材料から電極を形成し、形成した高反射率材料からなる電極をパッケージとの間に銀バンプ等を介在させて実装するフリップチップ実装を行なってもよい。

【0294】

(第10の実施形態)

以下、本発明の第10の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0295】

図33(a)及び図33(b)は本発明の第10の実施形態に係る半導体発光素子であ

10

20

30

40

50

って、(a)は断面構成を示し、(b)は平面構成を示している。図33(a)及び(b)において、図30(a)及び(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0296】

第9の実施形態との相違点は、紫外発光ダイオード部130をエピタキシャル成長する際のサファイアからなる基板を分離して除去し、n型半導体132における基板が除去された面上に、チタン(Ti)と金(Au)との積層膜からなる第2のn側電極118を設け、さらに、厚さが10 μ m以上の、ここでは例えば約50 μ mの金(Au)めっき層131を設けて実質的なn側電極としている点である。ここで、第2のn側電極118には、紫外光、青色光、緑色光及び赤色光に対する反射率が60%以上である材料を用いることが好ましく、例えば、金(Au)、白金(Pt)、銅(Cu)、銀(Ag)又はロジウム(Rh)の単層膜若しくはこれらのうち少なくとも2つを含む多層膜を用いることができる。また、金めっき層131には、金(Au)に代えて、銅(Cu)又は銀(Ag)を用いることができる。

10

【0297】

紫外発光ダイオード部130に例えば20mAの電流を注入して、波長が340nmの紫外発光を生じさせると、図31に示すスペクトルと同等のスペクトルパターンを有する白色光を得ることができる。

【0298】

この構成により、第10の実施形態に係る半導体発光素子は、第9の実施形態に係る半導体発光素子と同様に、紫外発光ダイオード部130の上に、該紫外発光ダイオード部130が出力する紫外光を受け、受けた紫外光の励起によって青色光、緑色光及び赤色光をそれぞれ発光する青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116を設ける構成が1チップの発光ダイオード素子として集積化が可能となる。従って、従来のYAG蛍光体を青色発光ダイオード素子からの青色光で励起することにより白色光を得る従来の白色発光ダイオード素子の発光スペクトルと比べて赤色領域の発光強度が大きくなるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することができる。

20

【0299】

また、従来例のようなYAG蛍光体を含む絶縁材及び透明電極を設ける必要がないため、製造プロセスが単純化されるだけでなく、透明電極を設けた場合に生じる透明電極での発光光の吸収もなくなるので、より高輝度化を実現できる。

30

【0300】

その上、第10の実施形態においては、エピタキシャル成長用のサファイアからなる基板を除去して、n型半導体132における活性層133の反対側の面(裏面)の全面に第2のn側電極118を形成し、さらに、厚さが50 μ mと比較的に厚い金めっき層131を設けている。これにより、紫外発光ダイオード部130における放熱性が著しく向上するため、より高出力の白色発光ダイオード素子を実現できる。その上、第2のn側電極118と第1のn側電極117とは活性層133を挟んで互いに対向するため、第2のn側電極118及び第1のn側電極117における電極間の直列抵抗を小さくできる。また、サファイア等の絶縁性基板を除去しているため、n型半導体132の上部に第2のn側電極118を設ける必要がなくなるので、チップサイズを縮小することができる。また、n型半導体132をp⁺型半導体層134側からエッチングして除去する工程をもなくすることができる。

40

【0301】

なお、赤色発光層116及び緑色発光層122は、十分な発光が得られる限りは、励起光が透過しやすいように可能な限り厚さを小さくすることが好ましい。

【0302】

また、紫外発光ダイオード部130は、サファイアからなる基板111とn型半導体132との間に、GaNからなる下地層及びGaN又はAlNからなる薄膜バッファ層を介在させて形成してもよい。

50

【0303】

また、第10の実施形態においては、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116をそれぞれ平面方形の島状にパターンニングしているが、必ずしもパターンニングする必要はなく、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116を n^+ 型半導体層135の上面における第1の n 側電極117の形成領域を除く全面に形成してもよい。但し、各発光層121、122、116を全面的に形成する場合は、各発光層の面積を出力光の演色性が最も良好となる値に最適化する。

【0304】

また、紫外発光ダイオード部130を、第8の実施形態のような青色発光ダイオード部110に置き換えた場合には、青色発光層121を設ける必要はない。

10

【0305】

以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0306】

図34(a)~図34(d)及び図35(a)~図35(c)は本発明の第10の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0307】

まず、図34(a)に示すように、MOCVD法により、例えば主面の面方位が(0001)面であるサファイアからなる基板111の上に、 n 型Ga_{0.95}Nからなる n 型半導体層132、InGa_{0.15}Nからなる多重量子井戸構造を有する活性層133、 p^+ 型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる p^+ 型半導体層134、 n^+ 型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる n^+ 型半導体層135、アンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる青色発光層121、アンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる緑色発光層122及びアンドープのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなる赤色発光層116を順次成長する。ここで、前述したように、 p^+ 型半導体層134と n^+ 型半導体層135とから形成される p^+n^+ 接合は、トンネル電流により低抵抗のオーミック特性に近い電流電圧特性を示す。また、活性層133は、厚さが1.5nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる井戸層と厚さが10nmのAl_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる障壁層とが5重に多重化されてなるが、発光波長が340nm程度であればこの構成に限られない。ここで、青色発光層121の禁制帯幅は2.6eVであり、470nmの青色光を発光する。緑色発光層122の禁制帯幅は2.3eVであり、555nmの緑色光を発光する。赤色発光層116の禁制帯幅は1.9eVであり、650nmの赤色光を発光する。また、基板111と n 型半導体層132との間に、Ga_{0.95}Nからなる下地層及びGa_{0.95}N又はAl_{0.05}Nからなる薄膜バッファ層を形成してもよい。また、活性層133のInの組成を活性層133の面内方向(基板面に平行な方向)に不均一となるように形成してもよい。また、赤色発光層116はアンドープではなく、例えば亜鉛、マグネシウム又はシリコンをドーピングしてInの組成を0.4よりも小さくしながら赤色発光を得られるようにしてもよい。

20

30

【0308】

次に、図34(b)に示すように、赤色発光層116の上に、例えば一辺が2 μ m~20 μ mで互いに間隔をおいてなる複数の方形パターンを有するニッケルからなる金属薄膜(図示せず)を形成する。続いて、形成した金属薄膜をマスクとして、例えば塩素(Cl₂)ガスを用いたICPエッチングにより、赤色発光層116、緑色発光層122、青色発光層121及び n^+ 型半導体層135の上部を選択的に除去する。ここで、赤色発光層116、緑色発光層122、青色発光層121における第1の n 側電極形成領域の上側部分をも除去する。

40

【0309】

次に、図34(c)に示すように、ドライエッチングの後に、リソグラフィ法により、 n^+ 型半導体層135における第1の n 側電極形成領域に開口パターンを有するレジスト膜(図示せず)を形成し、続いて、例えば電子ビーム蒸着法により、形成したレジスト膜の上に全面にわたって、Ti、Al、Ni及びAuとの積層膜からなる電極形成膜を形成

50

する。その後、レジスト膜を除去する、いわゆるリフトオフ法により、電極形成膜からオーミック電極である第1のn側電極117を形成する。ここで、第1のn側電極117のコンタクト抵抗を低減するために、例えば温度が約550の窒素雰囲気で行なってもよい。

【0310】

次に、図34(d)に示すように、第1のn側電極117を形成した後、シリコンからなる保持基板151を、第1のn側電極117及び赤色発光層116等を含むn⁺型半導体層135と例えばエポキシ系の接着剤152を用いて貼り合わせる。なお、保持基板151はシリコンに限られず、高分子フィルムを用いてもよい。

【0311】

次に、図35(a)に示すように、基板111における保持基板151の反対側の面から、基板111に吸収されず且つn型半導体132で吸収される、例えば波長が355nmであるYAGレーザの第3次高調波光又は波長が248nmのKrFエキシマレーザ光であって、高出力且つ短波長のパルスレーザ光を基板111の面内でスキャンしながら照射する。このとき、照射されたレーザ光は、基板111とn型半導体132との界面及びその近傍においてGaNからなるn型半導体132に吸収される。その結果、n型半導体132における基板111との界面の近傍部分がレーザ光の吸収により加熱されて例えば温度が900以上になると、その部分のn型半導体132が金属ガリウム(Ga)と窒素(N₂)ガスとに分解され、その結果分解層が形成される。

【0312】

次に、分解層が形成された基板111をガリウムの融点である29以上にまで加熱するか、又は塩化水素(HCl)水溶液中に浸して、分解層のうちの金属ガリウムを溶融するか除去することにより、n型半導体132から基板111を分離する。その後、例えば電子ビーム蒸着法により、基板111が分離され除去された露出面上にチタン(Ti)と金(Au)との積層膜からなる第2のn側電極118を形成する。続いて、電解めっき法により、第2のn側電極118の金(Au)層を下地として、厚さが約50μmの金めっき層131を形成して、図35(b)に示す構造を得る。

【0313】

次に、図35(c)に示すように、例えばアセトンにより接着剤152を除去して、保持基板151を除去し、その後、例えばダイシングにより、350μm角のサイズを持つ発光ダイオードチップに分割する。続いて、分割されたチップを例えば銀(Ag)ペーストを用いてパッケージ(図示せず)上の所定領域に実装し、その後、第1のn側電極117に対してワイヤボンディングを行なって、白色発光ダイオード素子を得る。

【0314】

このように、第10の実施形態に係る製造方法によると、青色発光層121、緑色発光層122及び赤色発光層116を紫外発光ダイオード部130からの紫外光によりそれぞれ励起する構成を1チップの白色発光ダイオード素子として集積化することができる。従って、従来の白色発光ダイオード素子と比べて、赤色領域における発光強度を高くできるため、演色性に優れた白色光を出力する白色発光ダイオード素子を実現することが可能となる。

【0315】

また、窒化物からなるn⁺型半導体層135は、窒化物からなるp型半導体層又はp⁺型半導体層と比べて不純物準位が浅く低抵抗化が可能であるため、横方向(基板面に平行な方向)の電流の拡がり十分に大きいので、従来例に示すような透明電極を設ける必要がない。従って、製造プロセスが簡単化されるだけでなく、透明電極を設けた場合に生じる透明電極での発光光の吸収もなくなるので、高輝度の白色発光ダイオード素子を実現することができる。

【0316】

その上、放熱性に優れたサファイア基板111を除去し、代わりに放熱性に優れた金めっき層131を設けているため、高出力化を図ることができる。

10

20

30

40

50

【0317】

第10の実施形態においては、サファイアからなる基板111を分離する際に高出力短波長パルスレーザー光を照射する分離法を説明したが、レーザー照射による分離法に限られない。例えば、サファイアからなる基板111に代えて、シリコン(Si)又はヒ化ガリウム(GaAs)からなる基板111を用いて、酸によるウェットエッチングにより該基板111を分離して除去するようにしてもよい。

【0318】

なお、第9～第10の実施形態においては、エピタキシャル成長用基板として用いたサファイアの主面の面方位は特に限定されない。例えば、サファイアを用いる場合には、(0001)面等の代表的(典型的)な面方位からずれたオフアングルを持つ面方位を採用してもよい。

10

【0319】

また、エピタキシャル成長用基板は、サファイアに限られず、炭化ケイ素(SiC)、酸化亜鉛(ZnO)、シリコン(Si)、ヒ化ガリウム(GaAs)、燐化ガリウム(GaP)、燐化インジウム(InP)、窒化ガリウム(GaN)、窒化アルミニウム(AlN)、酸化マグネシウム(MgO)又は酸化リチウムアルミニウムガリウム(LiAl_xGa_{1-x}O₂(但し、0<x<1))を用いることができる。

【0320】

また、青色発光ダイオード部110及び紫外発光ダイオード部130を構成する窒化物半導体層の組成、並びに赤色発光層116等の励起による各発光層を構成する窒化物半導体層の組成は、各実施形態に示した組成に限られない。また、結晶成長方法はMOCVD法に限られず、例えば、分子線エピタキシ(Molecular Beam Epitaxy: MBE)法又はハイドライドVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy: HVPE)法を用いた半導体層を含んでもよい。また、各半導体層には、ヒ素(As)又は燐(P)等のV族元素や、硼素(B)等のIII族元素を構成元素として含む構成としてもよい。

20

【産業上の利用可能性】

【0321】

本発明に係る半導体発光素子は、演色性に優れた高輝度で且つ高出力の白色発光ダイオード構造を1チップで実現でき、液晶ディスプレイ装置のバックライトや照明用の白色光源等として有用である。

30

【図面の簡単な説明】

【0322】

【図1】(a)及び(b)は本発明の第1の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

【図3】(a)～(c)は本発明の第1の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図4】(a)～(c)は本発明の第1の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

40

【図5】本発明の第2の実施形態に係る半導体発光素子を示す断面図である。

【図6】(a)及び(b)は本発明の第3の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

【図7】(a)～(d)は本発明の第3の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図8】(a)～(c)は本発明の第3の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図9】(a)及び(b)は本発明の第4の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

【図10】本発明の第4の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフ

50

である。

【図 1 1】(a) ~ (c) は本発明の第 4 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 2】(a) 及び (b) は本発明の第 4 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 3】(a) 及び (b) は本発明の第 5 の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a) は断面図であり、(b) は平面図である。

【図 1 4】本発明の第 5 の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

【図 1 5】(a) ~ (e) は本発明の第 5 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

10

【図 1 6】(a) ~ (c) は本発明の第 5 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 7】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a) は断面図であり、(b) は平面図である。

【図 1 8】(a) ~ (d) は本発明の第 6 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 9】(a) ~ (c) は本発明の第 6 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 2 0】本発明の第 7 の実施形態に係る半導体発光素子を示す断面図である。

20

【図 2 1】本発明の第 7 の実施形態に係る半導体発光素子を示す平面図である。

【図 2 2】本発明の第 7 の実施形態に係る半導体発光素子における赤色発光 E u ドープ層に添加された E u イオンの濃度プロファイルを示すグラフである。

【図 2 3】本発明の第 7 の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

【図 2 4】(a) ~ (d) は本発明の第 7 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 2 5】(a) ~ (c) は本発明の第 7 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 2 6】(a) 及び (b) は本発明の第 8 の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a) は断面図であり、(b) は平面図である。

30

【図 2 7】(a) はトンネル接合の有無による電圧電流特性を示すグラフであり、(b) はトンネル接合の有無による電流光出力特性を示すグラフである。

【図 2 8】本発明の第 8 の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

【図 2 9】(a) ~ (e) は本発明の第 8 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 3 0】(a) 及び (b) は本発明の第 9 の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a) は断面図であり、(b) は平面図である。

【図 3 1】本発明の第 9 の実施形態に係る半導体発光素子の発光スペクトルを示すグラフである。

40

【図 3 2】(a) ~ (d) は本発明の第 9 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 3 3】(a) 及び (b) は本発明の第 1 0 の実施形態に係る半導体発光素子を示し、(a) は断面図であり、(b) は平面図である。

【図 3 4】(a) ~ (d) は本発明の第 1 0 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 3 5】(a) ~ (c) は本発明の第 1 0 の実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 3 6】は従来の白色発光ダイオード素子を示す断面図である。

50

【図37】は従来の白色発光ダイオード素子の発光スペクトルを示すグラフである。

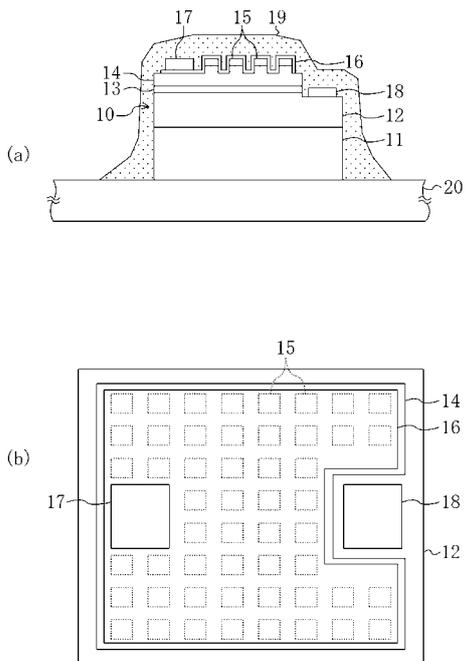
【符号の説明】

【0323】

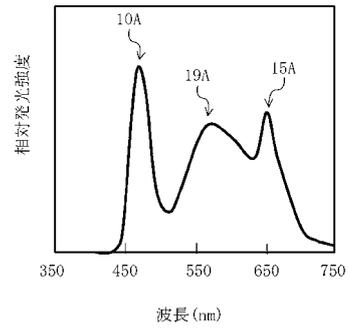
1 0	青色発光ダイオード部	
1 1	基板	
1 2	n型半導体層	
1 2 a	n側電極形成領域	
1 3	活性層	
1 4	p型半導体層	
1 5	赤色発光層	10
1 6	透明電極	
1 6 a	開口部	
1 7	p側電極	
1 8	n側電極	
1 9	YAG蛍光体を含む絶縁材	
2 0	パッケージ	
2 2	第1バンプ	
2 3	第2バンプ	
2 4	緑色発光層	
2 5	青色発光層	20
3 0	紫外発光ダイオード部	
3 1	金めっき層	
3 2	n型半導体層	
3 3	活性層	
3 4	p型半導体層	
5 1	レジスト膜	
5 2	保持基板	
5 3	接着剤	
1 1 0	青色発光ダイオード部	
1 1 1	基板	30
1 1 2	n型半導体層	
1 1 2 a	第2のn側電極形成領域	
1 1 3	活性層	
1 1 4	p ⁺ 型半導体層	
1 1 5	n ⁺ 型半導体層	
1 1 6	赤色発光層	
1 1 7	第1のn側電極	
1 1 8	第2のn側電極	
1 1 9	絶縁材	
1 2 0	パッケージ	40
1 2 1	青色発光層	
1 2 2	緑色発光層	
1 3 0	紫外発光ダイオード部	
1 3 1	金めっき層	
1 3 2	n型半導体層	
1 3 2 a	第2のn側電極形成領域	
1 3 3	活性層	
1 3 4	p ⁺ 型半導体層	
1 3 5	n ⁺ 型半導体層	
1 5 0	赤色発光Euドープ層	50

- 1 5 1 保持基板
- 1 5 2 接着剤

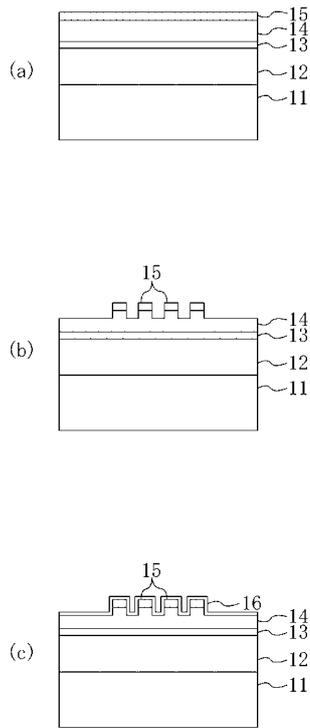
【図 1】



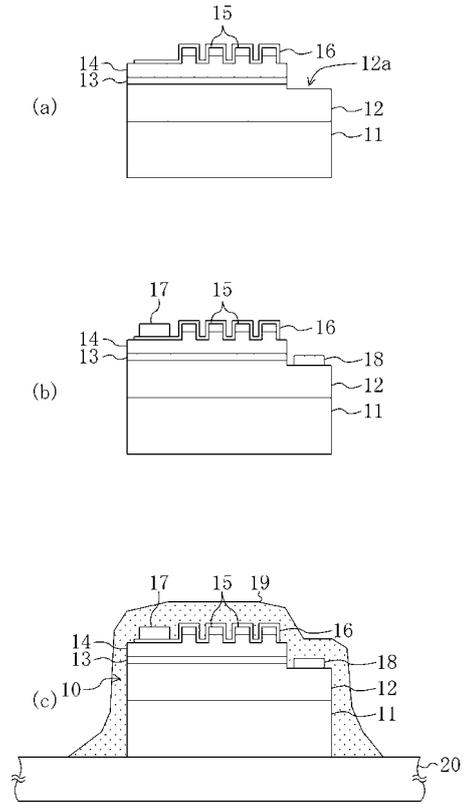
【図 2】



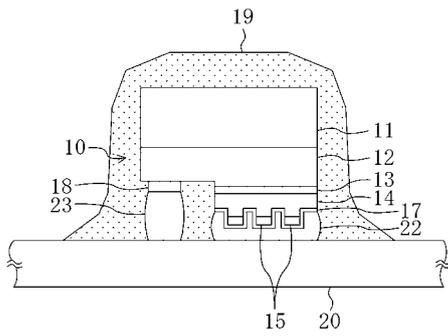
【図3】



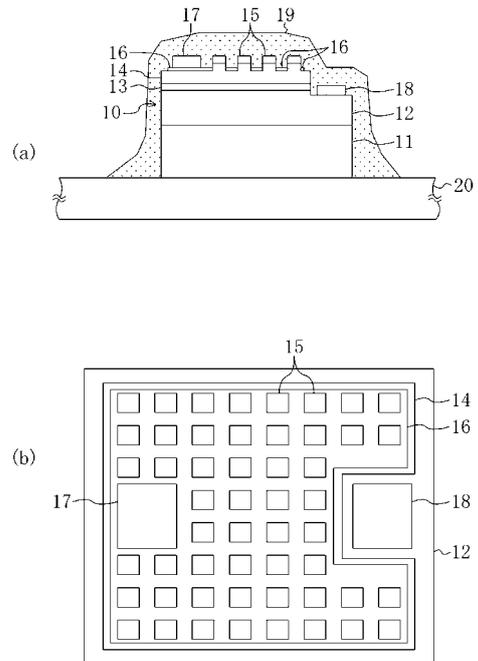
【図4】



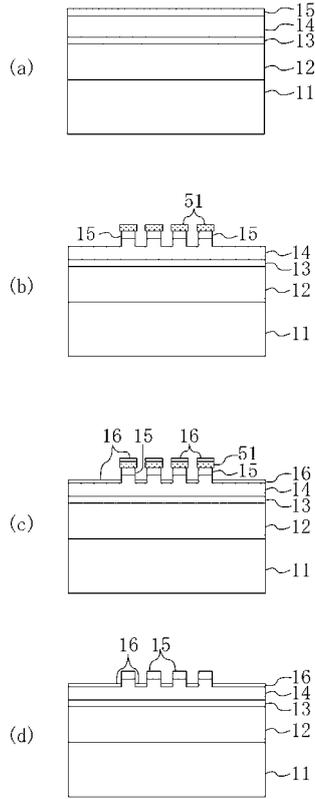
【図5】



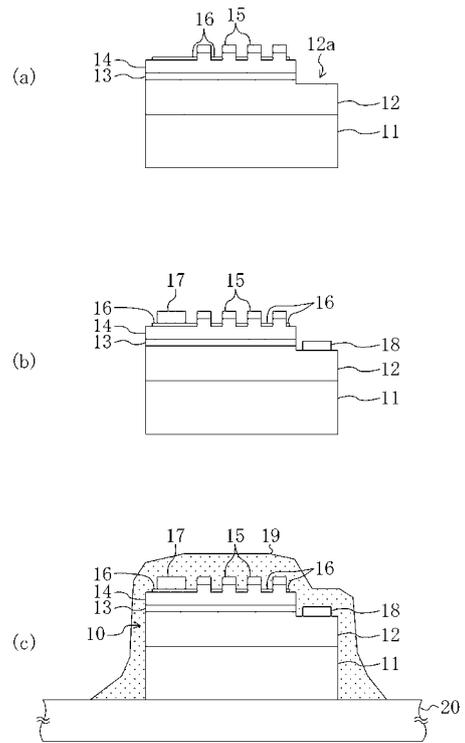
【図6】



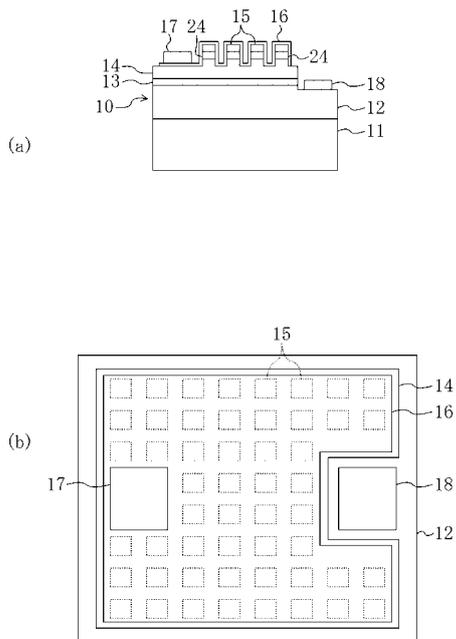
【図7】



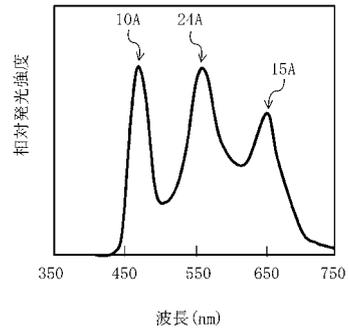
【図8】



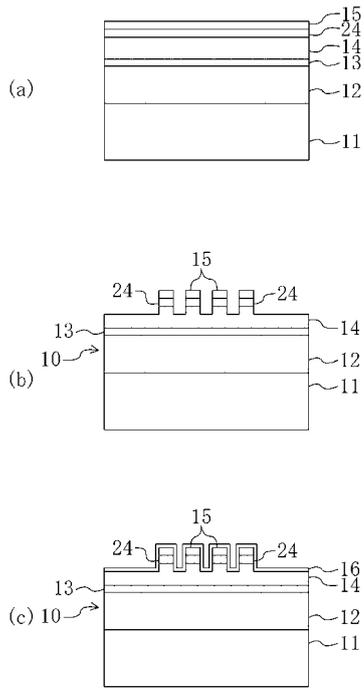
【図9】



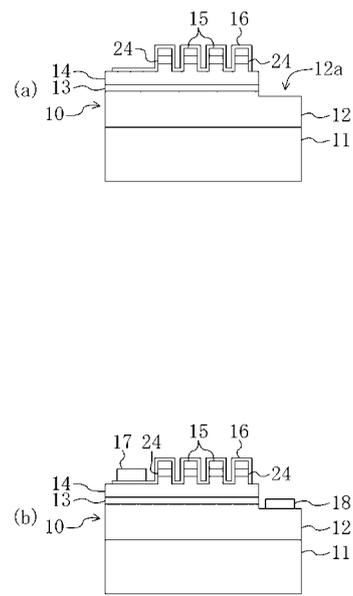
【図10】



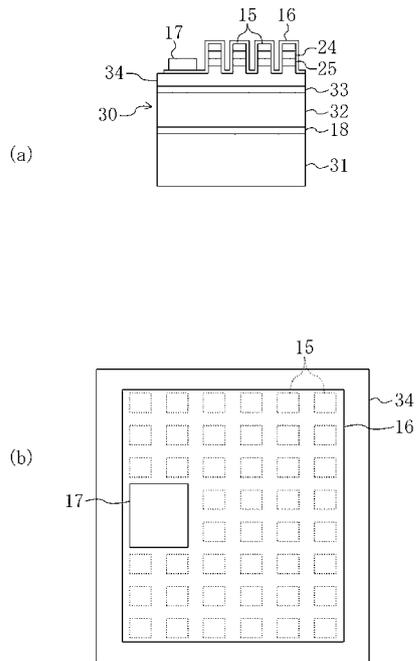
【 図 1 1 】



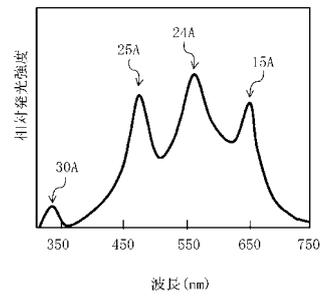
【 図 1 2 】



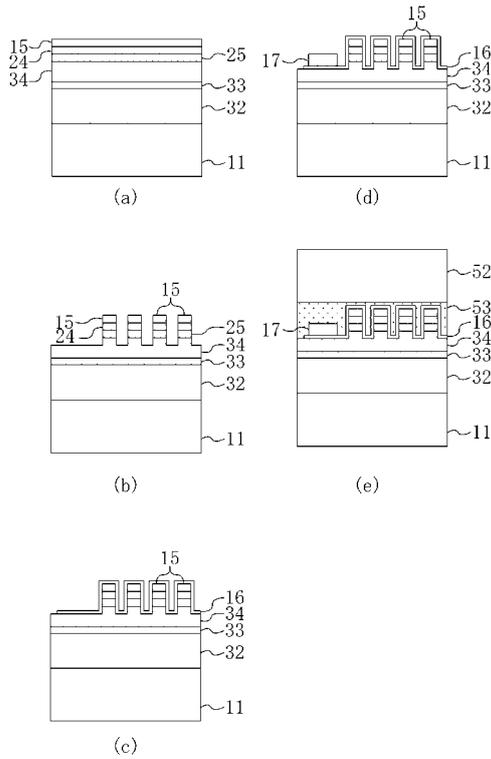
【 図 1 3 】



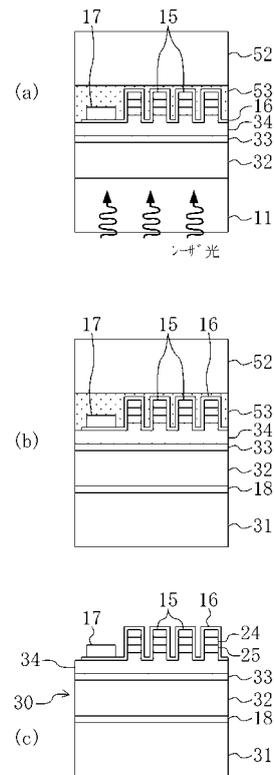
【 図 1 4 】



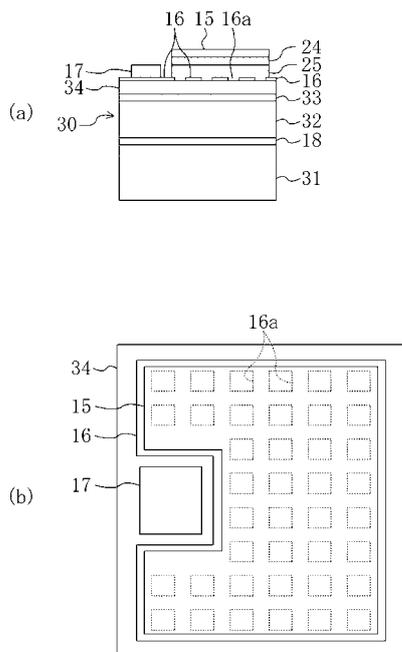
【図15】



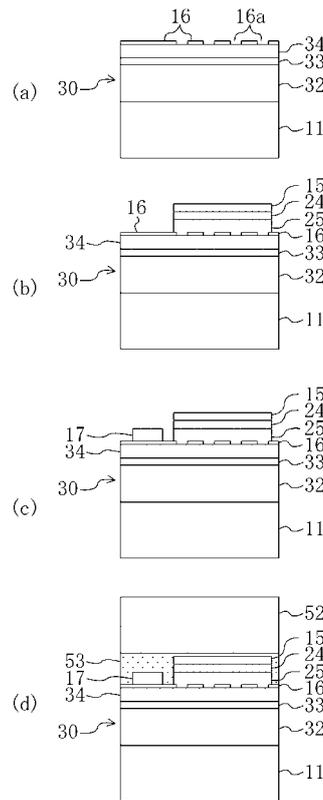
【図16】



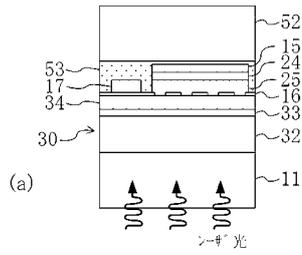
【図17】



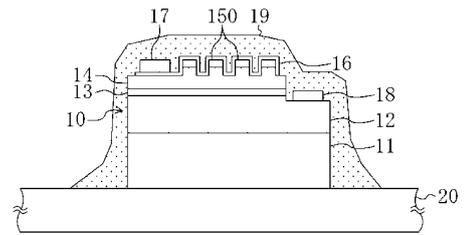
【図18】



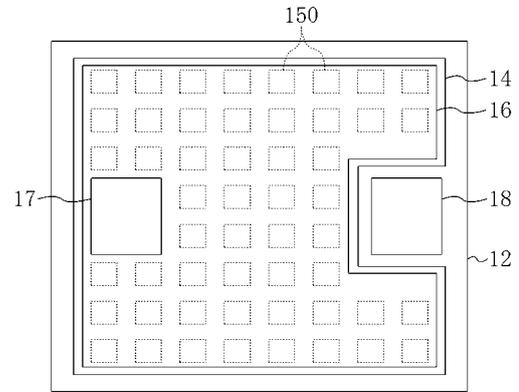
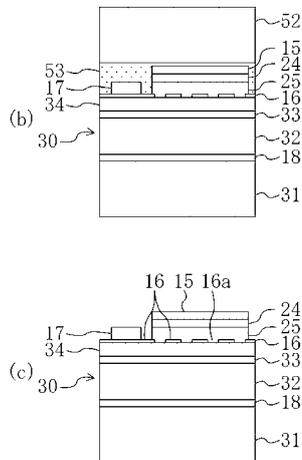
【図19】



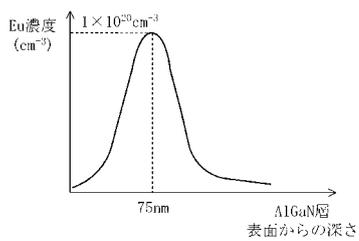
【図20】



【図21】

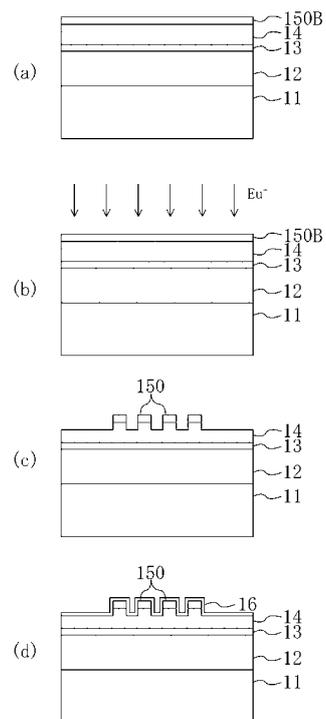
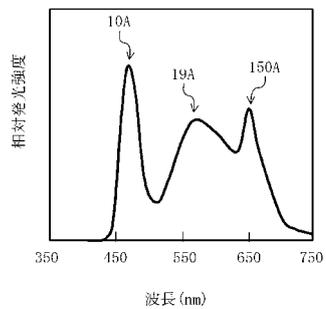


【図22】

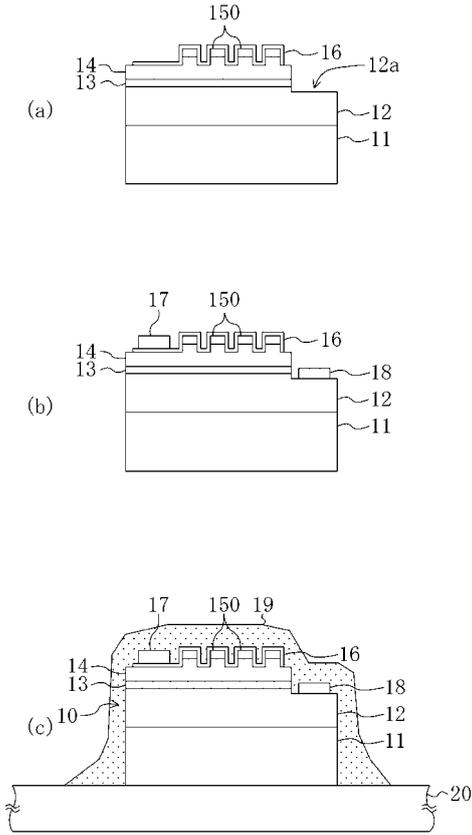


【図24】

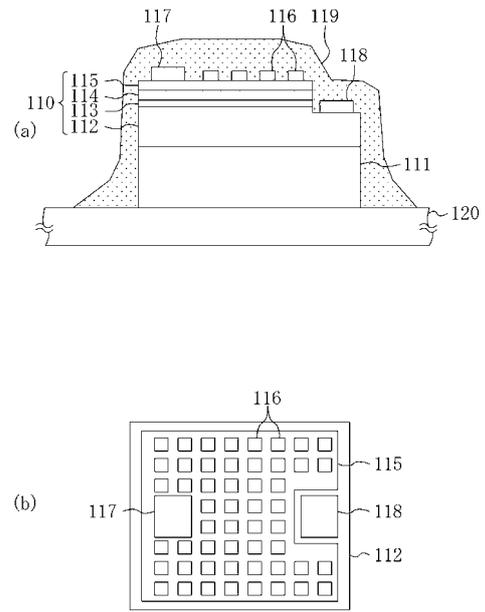
【図23】



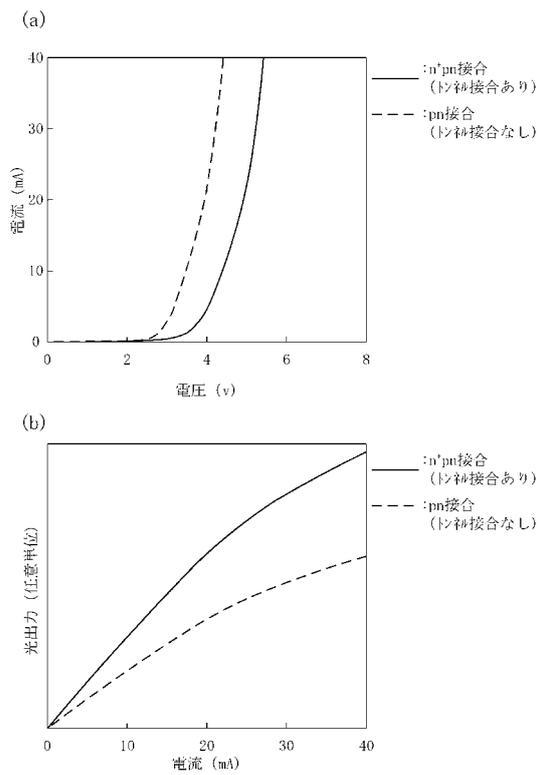
【図 25】



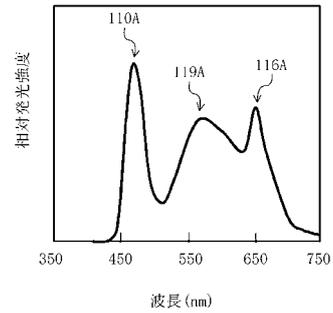
【図 26】



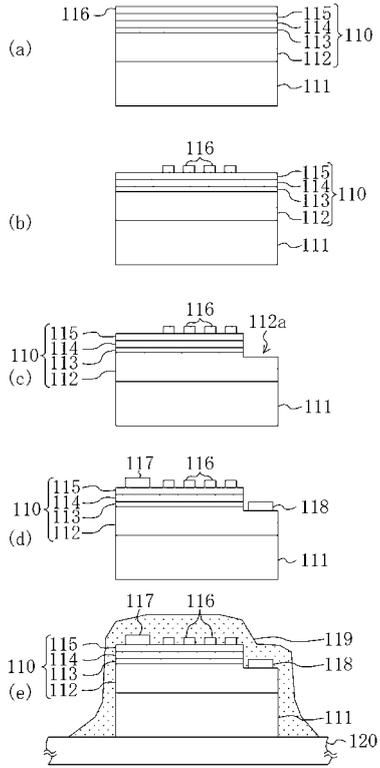
【図 27】



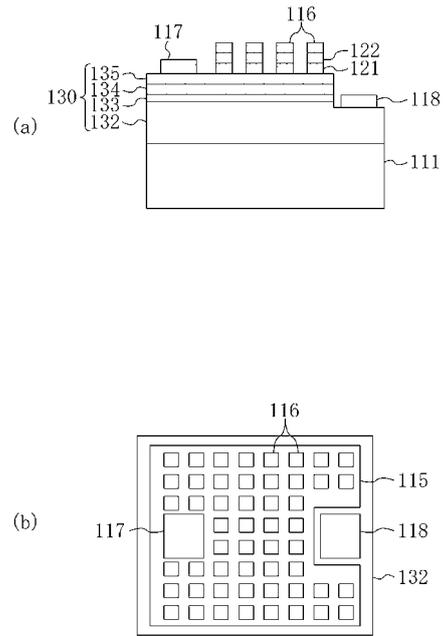
【図 28】



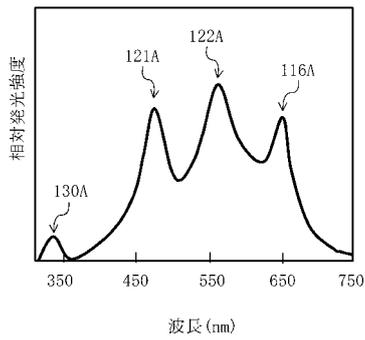
【図 29】



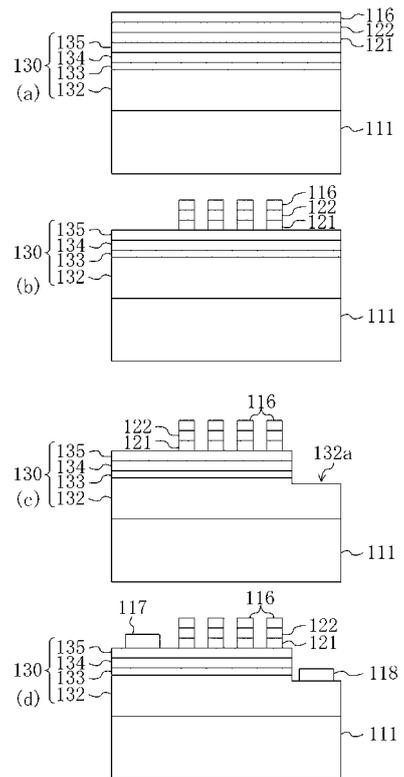
【図 30】



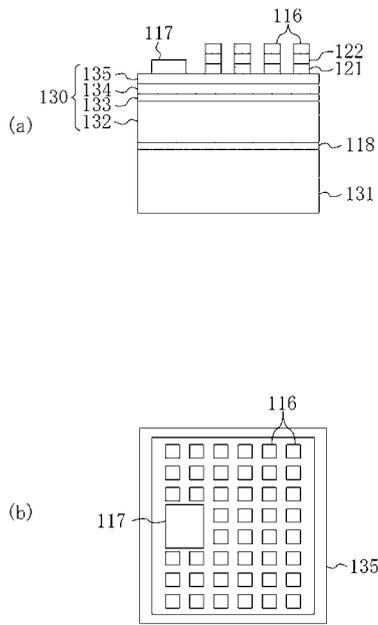
【図 31】



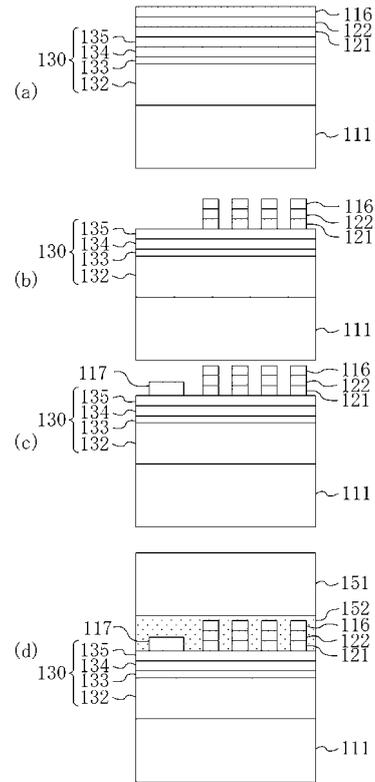
【図 32】



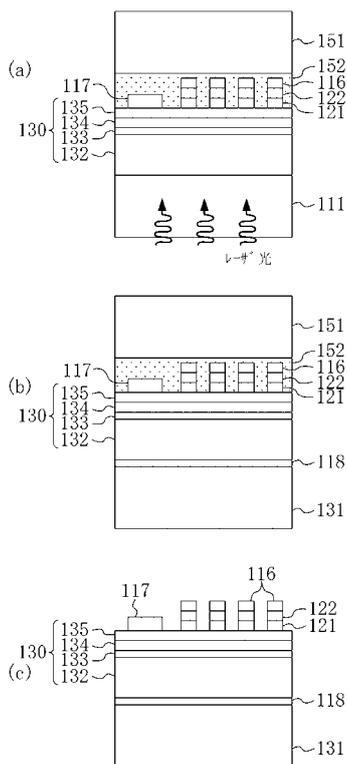
【図33】



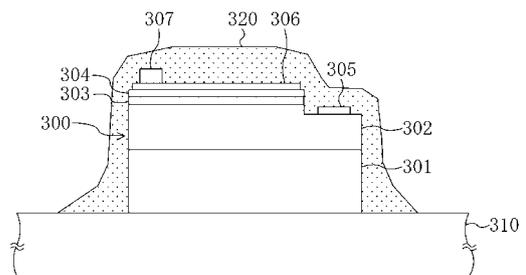
【図34】



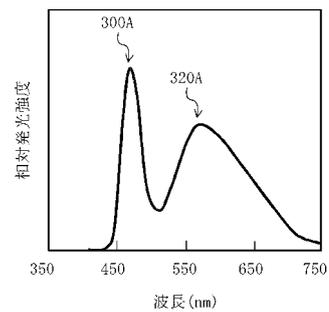
【図35】



【図36】



【図37】



フロントページの続き

- (74)代理人 100117581
弁理士 二宮 克也
- (74)代理人 100117710
弁理士 原田 智雄
- (74)代理人 100121728
弁理士 井関 勝守
- (74)代理人 100124671
弁理士 関 啓
- (74)代理人 100131060
弁理士 杉浦 靖也
- (72)発明者 上田 哲三
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 道祖土 新吾

- (56)参考文献 特開平11-274558(JP,A)
特開2003-037291(JP,A)
特開2002-368265(JP,A)
特開平08-288549(JP,A)
特開2002-171000(JP,A)
特開2002-111072(JP,A)
特開2003-234505(JP,A)
特開2000-091703(JP,A)
特開2002-299686(JP,A)
特開平10-261818(JP,A)
特開2000-082849(JP,A)
特開2002-217450(JP,A)
特開2003-318443(JP,A)
特開2003-347587(JP,A)
特開2000-101139(JP,A)
特開2003-243726(JP,A)
特開2002-198561(JP,A)
特開2003-068745(JP,A)
特開2002-319703(JP,A)
特開2002-009335(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64