

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-170902

(P2014-170902A)

(43) 公開日 平成26年9月18日(2014.9.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/50 (2010.01)	HO 1 L 33/00 4 1 O	4 M 1 O 9
HO 1 L 33/62 (2010.01)	HO 1 L 33/00 4 4 O	5 F 1 4 2
HO 1 L 23/29 (2006.01)	HO 1 L 23/30 F	
HO 1 L 23/31 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2013-43254 (P2013-43254)
 (22) 出願日 平成25年3月5日 (2013.3.5)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100108062
 弁理士 日向寺 雅彦
 (72) 発明者 小泉 洋
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
 (72) 発明者 中 具道
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
 Fターム(参考) 4M109 AA01 BA07 CA04 CA10 EA02
 EA10 EB18 EC11 EE12 GA01
 5F142 AA02 AA23 AA26 CA11 CG03
 CG04 CG05 CG43 DA02 DA12
 DA66 DA73 FA26 FA28 HA03

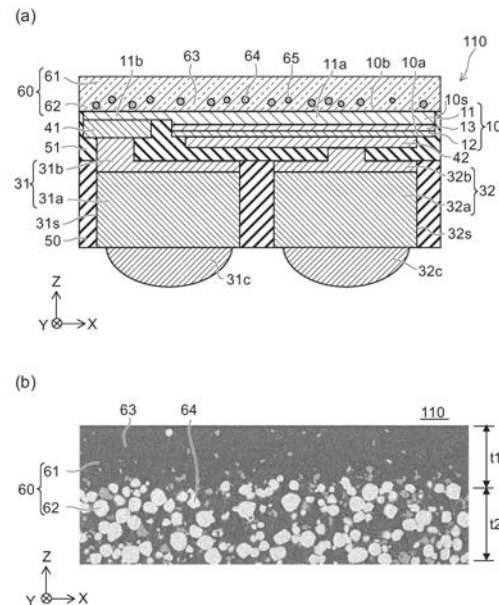
(54) 【発明の名称】 半導体発光装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】高発光特性で高生産性の半導体発光装置及びその製造方法を提供する。

【解決手段】実施形態によれば、半導体発光装置の製造方法が提供される。本製造方法は、面内に並ぶ複数の素子部と、複数の素子部を保持する樹脂層と、を含む加工体の上に、光透過性樹脂と、光透過性樹脂に分散された複数の粒子と、を含む樹脂液を塗布する。素子部は発光層を含む。樹脂液が塗布された加工体の温度を上昇させた状態で保持して樹脂液中の複数の粒子を沈降させる。樹脂液を硬化させて、粒子の濃度が低い第1部分と、濃度が高い第2部分と、を含む繋ぎ目がない光学層を形成する。光学層と樹脂層とを複数の素子部ごとに分断する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 主面を有し、前記第 1 主面に対して平行な面内に並ぶ複数の素子部と、前記複数の素子部を保持する樹脂層と、を含む加工体であって、

前記複数の素子部のそれぞれは、

前記第 1 主面に対して垂直な第 1 方向に延びる導電性の第 1 柱部と、

前記第 1 主面に対して平行な第 2 方向において前記第 1 柱部と離間し前記第 1 方向に延びる導電性の第 2 柱部と、

前記第 1 柱部の少なくとも一部と対向する第 1 半導体部分と、前記第 2 柱部の少なくとも一部と対向する第 2 半導体部分と、を含む第 1 導電形の第 1 半導体層と、

前記第 2 柱部と前記第 2 半導体部分との間に設けられた第 2 導電形の第 2 半導体層と

10

、
前記第 2 半導体部分と前記第 2 半導体層との間に設けられた発光層と、

を含む発光部と、

を含む加工体の前記第 1 主面の上に、光透過性樹脂と、前記光透過性樹脂に分散され前記発光層から放出される第 1 光の少なくとも一部を吸収して前記第 1 光の波長とは異なる第 2 光を放出する複数の粒子と、を含む樹脂液を塗布し、

前記樹脂液が塗布された前記加工体の温度を第 1 温度に上昇させた状態で保持して前記樹脂液中の前記複数の粒子を沈降させて、前記樹脂液の表面側の第 1 領域と、前記第 1 領域と前記加工体との間に設けられ前記第 1 領域における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第 2 領域と、を形成し、

20

前記第 1 領域と前記第 2 領域とが形成された前記加工体の温度を前記第 1 温度よりも高い第 2 温度に上昇させて、前記樹脂液を硬化させて、前記第 1 領域から形成される第 1 部分と、前記第 2 領域から形成され前記第 1 部分における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第 2 部分と、を含み、前記第 1 部分と前記第 2 部分との間には繋ぎ目が無い光学層を形成し、

前記光学層及び前記樹脂層を前記複数の素子部ごとに分断する半導体発光装置の製造方法。

【請求項 2】

第 1 主面を有し、前記第 1 主面に平行な面内に並ぶ複数の素子部と、前記複数の素子部を保持する樹脂層と、を含む加工体であって、

30

前記複数の素子部のそれぞれは、

前記第 1 主面に対して垂直な第 1 方向に延びる導電性の第 1 柱部と、

前記第 1 主面に対して平行な第 2 方向において前記第 1 柱部と離間し前記第 1 方向に延びる導電性の第 2 柱部と、

前記第 1 柱部の少なくとも一部と対向する第 1 半導体部分と、前記第 2 柱部の少なくとも一部と対向する第 2 半導体部分と、を含む第 1 導電形の第 1 半導体層と、

前記第 2 柱部と前記第 2 半導体部分との間に設けられた第 2 導電形の第 2 半導体層と

、
前記第 2 半導体部分と前記第 2 半導体層との間に設けられた発光層と、

40

を含む発光部と、

を含む加工体の前記第 1 主面の上に、前記第 1 主面の縁に沿う構造体を配置し、

前記第 1 主面の前記構造体で囲まれた領域の上に、光透過性樹脂と、前記光透過性樹脂に分散され前記発光層から放出される第 1 光の少なくとも一部を吸収して前記第 1 光の波長とは異なる第 2 光を放出する複数の粒子と、を含む樹脂液を塗布し、

前記樹脂液が塗布された前記加工体に遠心力を加えて、前記樹脂液中の前記複数の粒子の分布を変化させて、前記樹脂液の表面側の第 1 領域と、前記第 1 領域と前記加工体との間に設けられ前記第 1 領域における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第 2 領域と、を形成し、

前記樹脂液を硬化させて、前記第 1 領域から形成される第 1 部分と、前記第 2 領域から

50

形成され前記第 1 部分における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第 2 部分と、を含み、前記第 1 部分と前記第 2 部分との間には繋ぎ目がない光学層を形成し、

前記光学層及び前記樹脂層を前記複数の素子部ごとに分断する半導体発光装置の製造方法。

【請求項 3】

前記第 2 部分の厚さは、200 マイクロメートル以下である請求項 1 または 2 に記載の半導体発光装置の製造方法。

【請求項 4】

第 1 方向に延びる導電性の第 1 柱部と、

前記第 1 方向に対して交差する第 2 方向において前記第 1 柱部と離間し前記第 1 方向に延びる導電性の第 2 柱部と、

前記第 1 柱部及び前記第 2 柱部と前記第 1 方向において離間する光学層と、

前記第 1 柱部の少なくとも一部と前記光学層との間に設けられた第 1 半導体部分と

、

前記第 2 柱部と前記光学層との間に設けられた第 2 半導体部分と、

を含む第 1 導電形の第 1 半導体層と、

前記第 2 柱部と前記第 2 半導体部分との間に設けられた第 2 導電形の第 2 半導体層と

、

前記第 2 半導体部分と前記第 2 半導体層との間に設けられた発光層と、

を含む発光部と、

前記第 1 柱部の前記第 1 方向に沿う側面と、前記第 2 柱部の前記第 1 方向に沿う側面と、前記発光部の側面と、前記発光部の前記第 1 柱部及び前記第 2 柱部の側の面と、を覆う樹脂部と、

を備え、

前記光学層は、光透過性樹脂と、前記光透過性樹脂に分散され前記発光層から放出される第 1 光の少なくとも一部を吸収して前記第 1 光の波長とは異なる第 2 光を放出する複数の粒子と、を含み、

前記光学層は、第 1 部分と、前記第 1 部分と前記第 1 半導体層との間に設けられ前記第 1 部分における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第 2 部分と、を含み、

前記第 1 部分と前記第 2 部分との間には繋ぎ目がない半導体発光装置。

【請求項 5】

前記第 2 部分の厚さは、200 マイクロメートル以下である請求項 4 に記載の半導体発光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、半導体発光装置及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、青色 LED (Light Emitting Diode) などの半導体発光素子と、蛍光体を含む樹脂と、を組み合わせ、白色光を発する半導体発光装置がある。このような半導体発光装置において、色の均一性や発光効率などの発光特性を向上することとともに、高い生産性を実現することが求められている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2010 - 114217 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

20

30

40

50

本発明の実施形態は、高発光特性で高生産性の半導体発光装置及びその製造方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の実施形態によれば、半導体発光装置の製造方法が提供される。本製造方法は、第1主面を有し、前記第1主面に対して平行な面内に並ぶ複数の素子部と、前記複数の素子部を保持する樹脂層と、を含む加工体の第1主面の上に、光透過性樹脂と、前記光透過性樹脂に分散され発光層から放出される第1光の少なくとも一部を吸収して前記第1光の波長とは異なる第2光を放出する複数の粒子と、を含む樹脂液を塗布する。前記複数の素子部のそれぞれは、前記第1主面に対して垂直な第1方向に延びる導電性の第1柱部と、前記第1主面に対して平行な第2方向において前記第1柱部と離間し前記第1方向に延びる導電性の第2柱部と、前記第1柱部の少なくとも一部と対向する第1半導体部分と、前記第2柱部の少なくとも一部と対向する第2半導体部分と、を含む第1導電形の第1半導体層と、前記第2柱部と前記第2半導体部分との間に設けられた第2導電形の第2半導体層と、前記第2半導体部分と前記第2半導体層との間に設けられた前記発光層と、を含む発光部と、を含む。

10

本製造方法は、前記樹脂液が塗布された前記加工体の温度を第1温度に上昇させた状態で保持して前記樹脂液中の前記複数の粒子を沈降させて、前記樹脂液の表面側の第1領域と、前記第1領域と前記加工体との間に設けられ前記第1領域における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第2領域と、を形成することを含む。

20

本製造方法は、前記第1領域と前記第2領域とが形成された前記加工体の温度を前記第1温度よりも高い第2温度に上昇させて、前記樹脂液を硬化させて、前記第1領域から形成される第1部分と、前記第2領域から形成され前記第1部分における前記粒子の濃度よりも高い濃度で前記粒子を含む第2部分と、を含み、前記第1部分と前記第2部分の間には繋ぎ目がない光学層を形成することを含む。

本製造方法は、前記光学層及び前記樹脂層とを前記複数の素子部ごとに分断することを含む。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1(a)及び図1(b)は、第1の実施形態に係る半導体発光装置を例示する模式図である。

30

【図2】参考例の半導体発光装置を例示する電子顕微鏡像である。

【図3】半導体発光装置の特性を例示するグラフ図である。

【図4】第2の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示するフローチャート図である。

【図5】図5(a)～図5(e)は、第2の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

【図6】半導体発光装置の製造方法に用いられる材料の特性を例示するグラフ図である。

【図7】第3の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示するフローチャート図である。

40

【図8】図8(a)～図8(d)は、第3の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

【図9】第3の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法に用いられる処理装置を例示する模式的斜視図である。

【図10】第3の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法に用いられる処理装置の動作を例示する模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の

50

大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

なお、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0008】

(第1の実施の形態)

図1(a)及び図1(b)は、第1の実施形態に係る半導体発光装置を例示する模式図である。

すなわち、図1(a)は模式的断面図である。図1(b)は、半導体発光装置の一部を示す電子顕微鏡像である。

【0009】

図1(a)及び図1(b)に表したように、本実施形態に係る半導体発光装置110は、第1柱部31と、第2柱部32と、光学層60と、発光部10と、樹脂部50と、を含む。

【0010】

第1柱部31は、第1方向に延び、導電性である。

第1方向をZ軸方向とする。第1方向に対して垂直な1つの方向をX軸方向とする。Z軸方向とX軸方向とに対して垂直な方向をY軸方向とする。

【0011】

第2柱部32は、第2方向において第1柱部31と離間する。第2柱部32は、Z軸方向に延び、導電性である。この例では、第2方向は、X軸方向とされている。

【0012】

光学層60は、第1柱部31及び第2柱部32と、Z軸方向において離間する。

【0013】

発光部10は、第1導電形の第1半導体層11と、第2導電形の第2半導体層12と、発光層13と、を含む。

【0014】

例えば、第1導電形はn形であり、第2導電形は、p形である。実施形態において、第1導電形がp形であり、第2導電形がn形でも良い。以下の例では、第1導電形はn形であり、第2導電形はp形とする。

【0015】

第1半導体層11は、第1半導体部分11aと、第2半導体部分11bと、を含む。第1半導体部分11aは、第1柱部31の少なくとも一部と、光学層60と、の間に設けられる。第2半導体部分11bは、第2柱部32と、光学層60と、の間に設けられる。

【0016】

第2半導体層12は、第2柱部32と第2半導体部分11bとの間に設けられる。発光層13は、第2半導体部分11bと第2半導体層12との間に設けられる。

【0017】

第1半導体層11、第2半導体層12及び発光層13は、例えば窒化物半導体を含む。発光部10は側面10sを有する。発光部10の側面10sは、X-Y平面(第1方向に対して垂直な平面)に対して交差する面である。発光部10は、第1柱部31及び第2柱部32の側の面(第1面10a)と、光学層60の側の面(第2面10b)と、を有する。

【0018】

樹脂部50は、第1柱部31のZ軸方向)に沿う側面31sと、第2柱部32のZ軸方向に沿う側面32sと、発光部10の側面10sと、を覆う。樹脂部50は、発光部10の第1柱部31及び第2柱部32の側の面(第1面10a)をさらに覆う。

【0019】

この例では、第1電極41と、第2電極42と、がさらに設けられている。第1電極41は、第1半導体層11の第1半導体部分11aと第1柱部31との間において、第1半

10

20

30

40

50

導体部分 1 1 a に接している。第 2 電極 4 2 は、第 2 半導体層 1 2 と第 2 柱部 3 2 との間において、第 2 半導体層 1 2 に接している。

【 0 0 2 0 】

この例では、第 1 柱部 3 1 は、第 1 金属柱 3 1 a と第 1 金属層 3 1 b とを含む。第 1 金属層 3 1 b は、第 1 金属柱 3 1 a と第 1 電極 4 1 との間に配置されている。第 1 金属層 3 1 b は、第 1 電極 4 1 と接している。第 2 柱部 3 2 は、第 2 金属柱 3 2 a と第 2 金属層 3 2 b とを含む。第 2 金属層 3 2 b は、第 2 金属柱 3 2 a と第 2 電極 4 2 との間に配置されている。第 2 金属層 3 2 b は、第 2 電極 4 2 と接している。

【 0 0 2 1 】

この例では、絶縁層 5 1 がさらに設けられている。そして、絶縁層 5 1 は、発光部 1 0 の第 1 面 1 0 a を覆う。すなわち、樹脂部 5 0 は、絶縁層 5 1 を介して、発光部 1 0 の第 1 面 1 0 a を覆う。絶縁層 5 1 は、第 1 金属層 3 1 b の一部と、第 2 電極 4 2 の一部と、の間に設けられている。これにより、第 1 柱部 3 1 を X - Y 平面で切断したときのサイズは、第 1 電極 4 1 のサイズよりも大きくされている。すなわち、第 1 柱部 3 1 の太さは太い。これにより、第 1 柱部 3 1 を介した高い熱伝導性が得られる。

10

【 0 0 2 2 】

この例では、第 1 接続部材 3 1 c と、第 2 接続部材 3 2 c と、がさらに設けられている。第 1 接続部材 3 1 c と第 1 電極 4 1 との間に第 1 柱部 3 1 が配置される。第 2 接続部材 3 2 c と第 2 電極 4 2 との間に第 2 柱部 3 2 が配置される。第 1 接続部材 3 1 c 及び第 2 接続部材 3 2 c には、例えば、はんだボールなどが用いられる。

20

【 0 0 2 3 】

第 1 接続部材 3 1 c、第 1 柱部 3 1、第 1 電極 4 1、第 2 接続部材 3 2 c、第 2 柱部 3 2 及び第 2 電極 4 2 を介して、発光部 1 0 に電流が供給され、発光層 1 3 から光（第 1 光）が放出される。第 1 光は、例えば青色光である。

【 0 0 2 4 】

光学層 6 0 は、光透過性樹脂 6 3 と、複数の粒子 6 4 と、を含む。複数の粒子 6 4 は、光透過性樹脂 6 3 に分散される。複数の粒子 6 4 は、発光層 1 3 から放出される第 1 光の少なくとも一部を吸収して、第 1 光の波長（例えばピーク波長）とは異なる波長（例えばピーク波長）を有する第 2 光を放出する。例えば、第 2 光の第 2 ピーク波長は、第 1 光の第 1 ピーク波長よりも長い。例えば、第 1 光が青色であり、第 2 光は、緑色光、黄色光及び赤色光の少なくともいずれかを含む。例えば、第 1 光と第 2 光とが混合された光は、白色光である。

30

【 0 0 2 5 】

複数の粒子 6 4 には、例えば、蛍光体が用いられる。光透過性樹脂 6 3 には、例えば、シリコン系樹脂、アクリル系樹脂、及び、エポキシ系樹脂の少なくともいずれかが用いられる。

【 0 0 2 6 】

光学層 6 0 は、光透過性樹脂 6 3 に分散された複数のフィラー 6 5 をさらに含んでも良い。フィラー 6 5 には、例えば、酸化シリコン、酸化アルミニウム及び酸化チタンの少なくともいずれかを用いることができる。

40

【 0 0 2 7 】

図 1 (b) は、光学層 6 0 の部分の断面 SEM (走査型電子顕微鏡) 像である。図 1 (b) に例示したように、本実施形態においては、光学層 6 0 において、粒子 6 4 の濃度分布が設けられている。すなわち、光学層 6 0 の第 1 半導体層 1 1 の側の部分においては、粒子 6 4 の濃度は高く、光学層 6 0 の表面側の部分においては、粒子 6 4 の濃度は低い。

【 0 0 2 8 】

すなわち、光学層 6 0 は、第 1 部分 6 1 と、第 2 部分 6 2 と、を含む。第 2 部分 6 2 は、第 1 部分 6 1 と第 1 半導体層 1 1 との間に設けられる。第 2 部分 6 2 は、第 1 部分 6 1 における粒子 6 4 の濃度よりも高い濃度で、粒子 6 4 を含む。

【 0 0 2 9 】

50

例えば、第1部分61における粒子64の濃度は、5%以下である。第1部分61における粒子64の濃度が、実質的に0%である部分があっても良い。第2部分62における粒子64の濃度は、40%以上95%以下である。

【0030】

第1部分61の厚さ t_1 は、例えば、20マイクロメートル(μm)以上100 μm 以下である。

【0031】

第2部分62の厚さ t_2 は、例えば、40マイクロメートル(μm)以上200 μm 以下である。厚さ t_2 は、例えば、70 μm 以上80 μm 以下でも良い。

【0032】

そして、本実施形態においては、第1部分61と第2部分62との間には繋ぎ目がない。すなわち、シームレスである。

これにより、以下に説明するように、高発光特性で高生産性の半導体発光装置が提供できる。

【0033】

図2は、参考例の半導体発光装置を例示する電子顕微鏡像である。

図2は、参考例の半導体発光装置119(構造は図示しない)における光学層60の断面SEM像である。図2に示したように、参考例においては、光学層60において、粒子64の濃度は一定であり、濃度分布が設けられていない。光学層60全体の厚さは、実施形態に係る半導体発光装置110の光学層60の厚さとほぼ同じである。

【0034】

参考例の半導体発光装置119においては、光学層60の表面に、粒子64の一部が、露出する。このため、光学層60の表面の平滑性が低い。このため、半導体発光装置119を実装部材の上に実装する製造工程において、例えば、吸着治具により光学層60の表面を吸着するときに、吸着が不十分になり、生産性が低下し易い。

【0035】

これに対して、実施形態に係る半導体発光装置110においては、粒子64は、光学層60のうちの第2部分62に局在しており、第1部分61における粒子64の濃度は低い。このため、光学層60の表面の平滑性は高い。これにより、半導体発光装置110を実装部材の上に実装する製造工程において、光学層60の表面を吸着するときに、安定した吸着が実現でき、高い生産性が得られる。

【0036】

さらに、参考例の半導体発光装置119においては、光学層60の厚さ方向の全体において、粒子64が分散されている。これにより、以下に説明するように、光の出射方向によって、色が変化する現象が生じる。

【0037】

図3は、半導体発光装置の特性を例示するグラフ図である。

図3は、上記の半導体発光装置110及び119の、光の色特性を例示している。横軸は、Z軸方向からの角度(度)である。縦軸は、CIE色度座標におけるY値 C_y である。この例では、第1光が青色光であり、第2光が黄色光である。

【0038】

図3から分かるように、正面方向(角度が0度)においては、いずれの半導体発光装置においても、白色光が得られる。しかしながら、角度が大きくなり、斜めに出射する光に関しては、これらの半導体発光装置において、色特性が大きく異なる。すなわち、半導体発光装置119においては、斜め方向では、黄色光となる。この現象をイエローリングと呼ぶ場合がある。この現象は、角度の増大と共に、粒子64が分散されている領域における光路が長くなることにより生じる。この現象は、光学層60の厚さ方向の全体に渡って粒子64が分散され、粒子64が分散されている領域の厚いと、顕著になる。

【0039】

これに対して、図3から分かるように、実施形態に係る半導体発光装置110において

10

20

30

40

50

は、角度が大きくなり、斜め方向においても、色の変化は小さい。すなわち、斜め方向においても白色光が得られる。イエローリングの発生が抑制される。このように、実施形態においては、色の均一性が向上できる。

【0040】

実施形態において、第2部分62の厚さ t_2 を、 $40\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下にすることで、色の均一性がより高められる。さらに、厚さ t_2 を、 $70\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下とすることで、良好な明るさと、良好な発光効率と、色の均一性と、が良好に得られる。

【0041】

以下のような別の参考例も考えられる。すなわち、第1半導体層11の上に、粒子64の濃度が高い蛍光体層を形成し、その上に、粒子64の濃度が低い（例えば粒子64を含まない）樹脂層と、を形成して、光学層60を形成する構成がある。この場合には、光学層60の表面を平滑にできる。しかしながら、蛍光体層と、樹脂層と、の間には繋ぎ目が形成される。この場合には、蛍光体層と樹脂層との間の繋ぎ目（界面）において、光が反射または吸収され、光の損失が生じる。このため、光取り出し効率が低く、高い発光効率が得られない。

10

【0042】

これに対して、本実施形態においては、第1部分61と第2部分62との間には繋ぎ目がなく、シームレスである。これにより、光の損失が抑制できる。

【0043】

このように、本実施形態においては、粒子64が第2部分62に局在しており、光学層60の表面が平滑であるため、高い生産性が得られる。さらに、粒子64が分散されている領域（第2部分62）の厚さ t_2 が薄いため、イエローリングなどの色むらが抑制でき、色の均一性が高い。そして、シームレスであることにより、光の損失が抑制でき、発光効率が高い。本実施形態によれば、高発光特性で高生産性の半導体発光装置が提供できる。

20

【0044】

カップ状の実装部品に半導体発光素子を実装し、半導体発光素子の上に蛍光体樹脂を塗布する構成があるが、この場合には、カップ状の実装部品の内側壁で光が反射されて上方に出射されるため、イエローリングの現象は生じない。イエローリングの現象は、このような実装部品を用いない構成に特有に生じる現象である。

30

【0045】

（第2の実施形態）

本実施形態は、第1の実施形態に係る半導体発光装置110の製造方法に係る。本実施形態においては、粒子64の濃度分布の形成に、重力が用いられる。

図4は、第2の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示するフローチャート図である。

図5(a)～図5(e)は、第2の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

【0046】

図4に表したように、本製造方法においては、加工体の上に樹脂液を塗布する（ステップS110）。以下、加工体について説明する。

40

【0047】

例えば、図5(a)に表したように、成長用基板5の上に、発光部10となる半導体層がエピタキシャル成長され、半導体層が所定の形状に加工され、さらに、第1柱部31、第2柱部32及び樹脂層55が形成される。これにより、複数の素子部210が形成される。この成長用基板5は、第1柱部31、第2柱部32及び樹脂層55の形成の後に除去される。成長用基板5が除去された部分を、加工体310とする。加工体310は、第1主面310aを有する。第1主面310aは、成長用基板5側の面である。

【0048】

複数の素子部210のそれぞれは、導電性の第1柱部31と、導電性の第2柱部32と

50

、発光部 10 と、を含む。第 1 柱部 31 は第 1 方向（例えば Z 軸方向）に延びる。第 1 方向は、第 1 主面 310 a に対して垂直である。第 2 柱部 32 は、第 2 方向（例えば X 軸方向）において第 1 柱部 31 と離間し、第 1 方向に延びる。第 2 方向は、第 1 主面 310 a に対して平行な方向であり、すなわち、第 1 方向と交差する方向である。

【0049】

発光部 10 は、第 1 導電形の第 1 半導体層 11 と、第 2 導電形の第 2 半導体層 12 と、発光層 13 と、を含む。第 1 半導体層 11 は、第 1 柱部 31 の少なくとも一部と対向する第 1 半導体部分 11 a と、第 2 柱部 32 の少なくとも一部と対向する第 2 半導体部分 11 b と、を含む。第 1 半導体層 11 は、成長用基板 5 が除去されたときに、第 1 主面 310 a において露出する。第 2 半導体層 12 は、第 2 柱部 32 と第 2 半導体部分 11 b との間

10

【0050】

このような複数の素子部 210 が加工体 310 に設けられる。すなわち、加工体 310 は、第 1 主面 310 a を有しており、第 1 主面 310 a に平行な面（X - Y 平面）内に並ぶ複数の素子部 210 と、複数の素子部 210 を保持する樹脂層 55 と、を含む。後述するように、複数の素子部 210 のそれぞれは、半導体発光装置 110 の一部となる。樹脂層 55 は、分断されることにより、樹脂部 50 となる。

【0051】

図 5 (b) に表したように、このような加工体 310 の第 1 主面 310 a の上に、樹脂液 68 を塗布する。樹脂液 68 は、光透過性樹脂 63 と、光透過性樹脂 63 に分散された複数の粒子 64 と、を含む。粒子 64 は、発光層 13 から放出される第 1 光の少なくとも一部を吸収して第 1 光の波長とは異なる第 2 光を放出する。樹脂液 68 は、さらに、複数のフィラー 65 を含んでも良い。樹脂液 68 が塗布されたときには、樹脂液 68 中において、粒子 64 は均一に分散されている。

20

【0052】

塗布前の樹脂液 68 において、樹脂液 68 中で粒子が沈降し易いと、樹脂液 68 中での粒子 64 の濃度が不均一になり、樹脂液 68 を塗布したときに、粒子 64 の濃度が不均一になる。また、製造工程において、加工体 310 ごとにおいて、粒子 64 の濃度が不均一になる。このため、塗布前の樹脂液 68 においては、樹脂液 68 中で粒子は沈降し難いことが好ましい。このため、塗布直後の樹脂液 68 においても、粒子 64 は均一に分散されている。

30

【0053】

図 4 及び図 5 (c) に表したように、複数の粒子 64 を沈降させて、第 1 領域 61 a と、第 2 領域 62 a と、を形成する（ステップ S120）。第 1 領域 61 a は、樹脂液 68 の表面側の領域である。第 2 領域 62 a は、第 1 領域 61 a と加工体 310 との間に設けられる領域である。第 2 領域 62 a は、第 1 領域 61 a における粒子 64 の濃度よりも高い濃度で粒子 64 を含む。

【0054】

ステップ S120 においては、例えば、樹脂液 68 が塗布された加工体 310 の温度を第 1 温度に上昇させた状態で保持して、樹脂液 68 中の複数の粒子 64 を沈降させる。

40

【0055】

図 6 は、半導体発光装置の製造方法に用いられる材料の特性を例示するグラフ図である。

図 6 は、樹脂液 68 の特性を例示している。この例では、2 種類の樹脂液 68 の特性が例示されている。第 1 樹脂 68 a は、本実施形態に用いられる樹脂液 68 である。第 2 樹脂 68 b は、第 1 樹脂 68 a とは異なる樹脂液である。横軸は、所定の温度（第 1 温度）における保持時間 t である。縦軸は、樹脂液の粘度 である。樹脂液には熱硬化性の樹脂が用いられる。

【0056】

50

図6に表したように、第2樹脂68bにおいては、所定の温度(第1温度)に保持したときに、保持時間tの経過とともに、粘度が単調に上昇する。この現象は、樹脂の熱による硬化に対応する。

【0057】

これに対して、第1樹脂68aにおいては、所定の温度(第1温度)における保持時間tが経過すると、一度、粘度が低下し、その後上昇する。第1樹脂68aにおいては、保持時間tの経過により、第1樹脂68aの硬化が実質的に進まないで、高温での粘度の低下が生じる。そして、粘度の低下の後に、第1樹脂68aの硬化が進む。

【0058】

このような特性を有する樹脂液68(第1樹脂68a)を用いることで、樹脂液68中の粒子64の沈降が短時間で実施できる。

【0059】

例えば、第2樹脂68bを用いる場合には、所定の温度(第1温度)に上昇させると、硬化が進むため、粒子64の沈降は、硬化が進まない低い温度(例えば室温)で行われる。このような低い温度での沈降には、例えば24時間程度の時間が必要となる。

【0060】

これに対して、本実施形態においては、室温よりも高い所定の温度(第1温度)において保持することで、粒子64の沈降は、例えば、0.5時間~5時間程度の短い時間で完了する。

【0061】

このようにして、樹脂液68の表面側の第1領域61aと、第1領域61aと加工体310との間に設けられる第2領域62aと、が形成される。第2領域62aは、第1領域61aにおける粒子64の濃度よりも高い濃度で、粒子64を含む。例えば、第1樹脂68aを用いることで、粒子64の濃度が低い第1領域61aと、粒子64の濃度が高い第2領域62aと、が短時間で形成できる。

【0062】

図4及び図5(d)に表したように、第1領域61aと第2領域62aとが形成された加工体310の温度を、第1温度よりも高い第2温度に上昇させて、樹脂液68を硬化させて、光学層60を形成する(ステップS130)。光学層60は、第1領域61aから形成される第1部分61と、第2領域62aから形成される第2部分62と、を含む。第2部分62は、第1部分61における粒子64の濃度よりも高い濃度で、粒子64を含む。第1部分61と第2部分62との間には繋ぎ目がなく、シームレスである。

【0063】

図4及び図5(e)に表したように、光学層60及び樹脂層55を、複数の素子部ごとに分断する(ステップS140)。樹脂層55から樹脂部50が形成される。

これにより、複数の半導体発光装置110が形成できる。

【0064】

本実施形態によれば、高発光特性で高生産性の半導体発光装置の製造方法を提供できる。本実施形態においては、上記のような第1温度での保持による粒子64の沈降と、第1温度よりも高い第2温度での樹脂液68の硬化と、の2段階の処理を行うことで、高い生産性で半導体発光装置を製造できる。

【0065】

既に説明したように、塗布前の、例えば室温での樹脂液68においては、樹脂液68中で粒子が沈降し難いように設計される。本実施形態においては、塗布時の温度(例えば室温)においては、樹脂液68の粘度が高く、塗布後に行われる沈降の第1温度(塗布時の温度よりも高温)において樹脂液68の粘度が低下するように設計される。第1温度においては、粒子64が沈降するまでの時間では、樹脂液68の硬化が実質的に進行しない。そして、沈降の後に実施される、第1温度よりも高温の第2温度において、樹脂液68の硬化が行われる。

【0066】

10

20

30

40

50

これにより、塗布時においては粒子 6 4 の濃度が安定して得られ、かつ、沈降が短時間で完了できる。生産性の高い製造方法が提供できる。

【 0 0 6 7 】

(第 3 の実施形態)

本実施形態は、第 1 の実施形態に係る半導体発光装置 1 1 0 の別の製造方法に係る。本実施形態においては、粒子 6 4 の濃度分布の形成に、遠心力が用いられる。

【 0 0 6 8 】

図 7 は、第 3 の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示するフローチャート図である。

図 8 (a) ~ 図 8 (d) は、第 3 の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を例示する工程順模式的断面図である。

【 0 0 6 9 】

図 7、図 8 (a) 及び図 8 (b) に表したように、加工体 3 1 0 の第 1 主面 3 1 0 a の上に、第 1 主面 3 1 0 a の縁 3 1 0 r に沿う構造体 3 2 0 を形成する (ステップ S 1 0 5)。加工体 3 1 0 は、第 2 の実施形態に関して説明したのと同様なので、説明を省略する。

【 0 0 7 0 】

この例では、構造体 3 2 0 として、開口部が設けられた枠が用いられる。枠を加工体 3 1 0 に被せる。枠の開口部から、加工体 3 1 0 の第 1 主面 3 1 0 a の縁 3 1 0 r を除く部分が露出する。

【 0 0 7 1 】

図 7 及び図 8 (b) に表したように、第 1 主面 3 1 0 a の構造体 3 2 0 で囲まれた領域に、樹脂液 6 8 を塗布する (ステップ S 1 1 0)。樹脂液 6 8 は、光透過性樹脂 6 3 と、光透過性樹脂 6 3 に分散された複数の粒子 6 4 と、を含む。この例では、樹脂液 6 8 は、複数のフィラー 6 5 をさらに含む。

【 0 0 7 2 】

この状態では、図 8 (c) に表したように、塗布された樹脂液 6 8 において、粒子 6 4 は均一に分散されている。すなわち、樹脂液 6 8 における粒子 6 4 の濃度に分布が形成されていない。塗布直後の樹脂液 6 8 において、粒子 6 4 が均一に分散されるように樹脂液 6 8 は設計される。これにより、粒子 6 4 の均一な濃度の塗布が実施でき、異なる加工体 3 1 0 における粒子 6 4 の濃度も均一にできる。

【 0 0 7 3 】

図 7 及び図 8 (d) に表したように、樹脂液 6 8 の表面側の第 1 領域 6 1 a と、第 1 領域 6 1 a と加工体 3 1 0 との間に設けられる第 2 領域 6 2 a と、を形成する (ステップ S 1 2 0)。第 2 領域 6 2 a は、第 1 領域 6 1 a における粒子 6 4 の濃度よりも高い濃度で、粒子 6 4 を含む。この例では、第 1 領域 6 1 a 及び第 2 領域 6 2 a の形成に、遠心力が用いられる。構造体 3 2 0 で囲まれた領域に塗布された樹脂液 6 8、加工体 3 1 0 及び構造体 3 2 0 を含む処理体 3 4 0 が回転され、処理体 3 4 0 に遠心力が加えられる。

【 0 0 7 4 】

図 9 は、第 3 の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法に用いられる処理装置を例示する模式的斜視図である。

図 1 0 は、第 3 の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法に用いられる処理装置の動作を例示する模式図である。

図 9 に表したように、処理装置 3 3 0 は、回転部 3 3 1 と、回転部 3 3 1 から放射状に延出するアーム 3 3 2 と、アーム 3 3 2 に保持された処理体搭載部 3 3 3 と、を含む。

【 0 0 7 5 】

図 1 0 に表したように、回転部 3 3 1 が回転していない状態において、処理体搭載部 3 3 3 の上に処理体 3 4 0 を配置する。この状態においては、処理体 3 4 0 (の第 1 主面 3 1 0 a) は、水平状態 (回転部 3 3 1 の軸に対して垂直) である。回転部 3 3 1 を回転させると、回転により生じる遠心力 3 5 0 により、処理体搭載部 3 3 3 及び処理体 3 4 0 は

10

20

30

40

50

、垂直（回転部 3 3 1 の軸に対して平行）に近い状態になる。この回転による遠心力 3 5 0 が、処理体 3 4 0 の樹脂液 6 8 に作用する。遠心力 3 5 0 により、樹脂液 6 8 中を粒子 6 4 が移動して、粒子 6 4 の濃度が低い第 1 領域 6 1 a と、粒子 6 4 の濃度が高い第 2 領域 6 2 a と、が形成される。

【 0 0 7 6 】

このように、この例では、樹脂液 6 8 が塗布された加工体 3 1 0 に遠心力を加えて、樹脂液 6 8 中の複数の粒子 6 4 の分布を変化させる。これにより、上記の第 1 領域 6 1 a と、第 2 領域 6 2 a と、が短時間で形成できる。

【 0 0 7 7 】

この方法においては、例えば、樹脂液 6 8 の特性の範囲が広がる。粒子 6 4 の濃度分布の形成に、所望の強さの遠心力を用いることができるので、例えば、粒子 6 4 がより移動し難い樹脂液 6 8 を用いることができる。これにより、例えば、塗布前の樹脂液 6 8 中における粒子 6 4 の濃度の安定性がより高まる。そして、温度に対する粘度の変化に関しても、より広い範囲の特性の材料が使用できる。このため、例えば、他の特性（例えば、光学特性、信頼性、加工性など）をより高めることができる。

10

【 0 0 7 8 】

このようにして、第 1 領域 6 1 a 及び第 2 領域 6 2 a を形成した後、図 7 に例示したように、樹脂液 6 8 を硬化させて、光学層 6 0 を形成する（ステップ S 1 3 0）。すなわち、図 5（d）に関して説明した処理を行う。光学層 6 0 は、第 1 領域 6 1 a から形成される第 1 部分 6 1 と、第 2 領域 6 2 a から形成される第 2 部分 6 2 と、を含む。この場合も、第 2 部分 6 2 は、第 1 部分 6 1 における粒子 6 4 の濃度よりも高い濃度で粒子 6 4 を含む。そして、第 1 部分 6 1 と第 2 部分 6 2 との間には、繋ぎ目がなく、シームレスである。

20

【 0 0 7 9 】

その後、図 7 に表したように、光学層 6 0 及び樹脂層 5 5 を複数の素子部 2 1 0 ごとに分断する（ステップ S 1 4 0）。すなわち、図 5（e）に関して説明した処理を行う。これにより、複数の半導体発光装置 1 1 0 が形成できる。

【 0 0 8 0 】

本実施形態によれば、高発光特性で高生産性の半導体発光装置の製造方法を提供できる。本実施形態においては、遠心力を用いることにより、より高い生産性で、半導体発光装置を製造できる。さらに、樹脂液 6 8 に、広い範囲の特性の材料が使用できるため、種々の特性をより向上できる。

30

【 0 0 8 1 】

カップ状の実装部品に半導体発光素子を実装し、半導体発光素子の上に蛍光体樹脂を塗布する構成において、蛍光体樹脂中の蛍光体粒子の濃度に分布を形成する方法が考えられる。この構成においては、カップ状の実装部品の壁面、及び、半導体発光素子に接続される配線などにより、蛍光体粒子の濃度が高い部分の厚さを均一にすることは困難である。これに対して、実施形態においては、成長用基板 5 が除去されて平坦な加工体 3 1 0 の上に、樹脂液 6 8 を塗布し、その後、粒子 6 4 の濃度分布を形成する。このため、実施形態においては、粒子 6 4 の濃度が高い部分、及び、濃度が低い部分、のそれぞれの厚さを均一にでき、しかも、それらの部分をシームレスに形成できる。

40

【 0 0 8 2 】

以下、実施形態における材料の例について説明する。

第 1 柱部 3 1（例えば第 1 金属柱 3 1 a 及び第 1 金属層 3 1 b）、及び、第 2 柱部 3 2（例えば第 2 金属柱 3 2 a 及び第 2 金属層 3 2 b）には、例えば、Cu（銅）、Ni（ニッケル）、及び、Al（アルミニウム）などを用いることができる。

【 0 0 8 3 】

樹脂部 5 0 には、例えば、エポキシ樹脂、または、ポリイミド樹脂などが用いられる。

【 0 0 8 4 】

光透過性樹脂 6 3 には、例えば、シリコーン樹脂などを用いることができる。光透過性

50

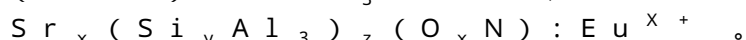
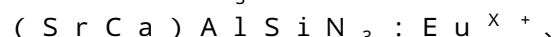
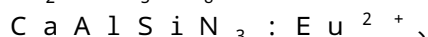
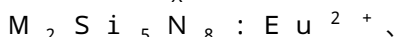
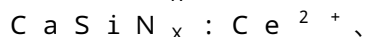
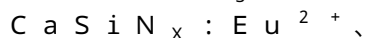
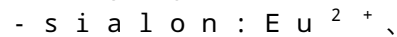
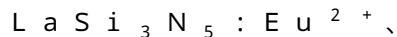
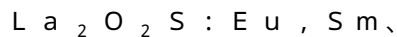
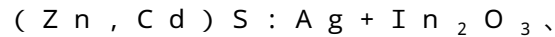
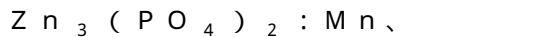
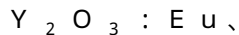
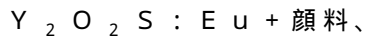
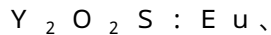
樹脂 63 には、例えば、屈折率が約 1.5 のメチルフェニルシリコンが用いられる。

【0085】

粒子 64 は、例えば、赤色の蛍光体、緑色の蛍光体、青色の蛍光体、及び、黄色の蛍光体の少なくともいずれかを用いることができる。

【0086】

赤色の蛍光体として例えば以下が挙げられる。ただし、実施形態に用いられる赤色の蛍光体は、これに限定されない。

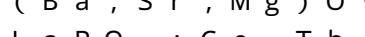
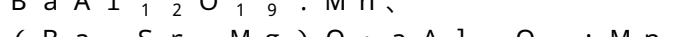
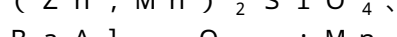
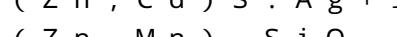
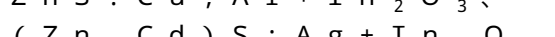
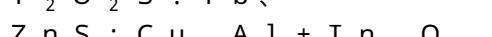
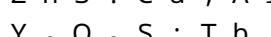
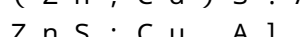
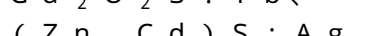
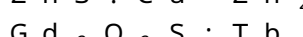
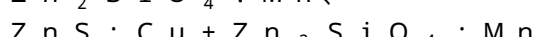
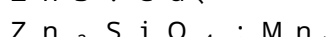
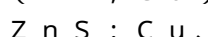
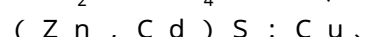
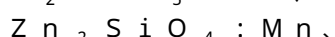
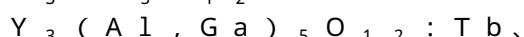
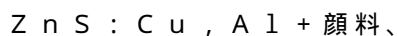


10

20

【0087】

緑色の蛍光体として例えば以下が挙げられる。ただし、実施形態に用いられる緑色の蛍光体は、これに限定されない。



30

40

50

$Zn_2SiO_4 : Mn$ 、
 $ZnS : Cu$ 、
 $3(Ba, Mg, Eu, Mn)O \cdot 8Al_2O_3$ 、
 $La_2O_3 \cdot 0.2SiO_2 \cdot 0.9P_2O_5 : Ce, Tb$ 、
 $CeMgAl_{11}O_{19} : Tb$ 、
 $CaSc_2O_4 : Ce$ 、
 $(BrSr)SiO_4 : Eu$ 、
 $-sialon : Yb^{2+}$ 、
 $-sialon : Eu^{2+}$ 、
 $(SrBa)YSi_4N_7 : Eu^{2+}$ 、
 $(CaSr)Si_2O_4N_7 : Eu^{2+}$ 、
 $Sr(SiAl)(ON) : Ce$ 。

10

【0088】

青色の蛍光体として例えば以下が挙げられる。ただし、実施形態に用いられる青色の蛍光体はこれに限定されない。

$ZnS : Ag$ 、
 $ZnS : Ag + \text{顔料}$ 、
 $ZnS : Ag, Al$ 、
 $ZnS : Ag, Cu, Ga, Cl$ 、
 $ZnS : Ag + In_2O_3$ 、
 $ZnS : Zn + In_2O_3$ 、
 $(Ba, Eu)MgAl_{10}O_{17}$ 、
 $(Sr, Ca, Ba, Mg)_{10}(PO_4)_6Cl_2 : Eu$ 、
 $Sr_{10}(PO_4)_6Cl_2 : Eu$ 、
 $(Ba, Sr, Eu)(Mg, Mn)Al_{10}O_{17}$ 、
 $10(Sr, Ca, Ba, Eu) \cdot 6PO_4 \cdot Cl_2$ 、
 $BaMg_2Al_{16}O_{25} : Eu$ 。

20

【0089】

黄色の蛍光体として例えば以下が挙げられる。ただし、実施形態に用いられる黄色の蛍光体はこれに限定されない。

$Li(Eu, Sm)W_2O_8$ 、
 $(Y, Gd)_3, (Al, Ga)_5O_{12} : Ce^{3+}$ 、
 $Li_2SrSiO_4 : Eu^{2+}$ 、
 $(Sr(Ca, Ba))_3SiO_5 : Eu^{2+}$ 、
 $SrSi_2ON_{2.7} : Eu^{2+}$ 。

30

【0090】

実施形態によれば、高発光特性で高生産性の半導体発光装置及びその製造方法を提供できる。

【0091】

なお、本明細書において「窒化物半導体」とは、 $B_xIn_yAl_zGa_{1-x-y-z}N(0 \leq x < 1, 0 \leq y < 1, 0 \leq z < 1, x+y+z < 1)$ なる化学式において組成比 x 、 y 及び z をそれぞれの範囲内で変化させた全ての組成の半導体を含むものとする。またさらに、上記化学式において、 N (窒素) 以外の V 族元素もさらに含むものや、導電型などを制御するために添加される各種のドーパントのいずれかをさらに含むものも、「窒化物半導体」に含まれるものとする。

40

【0092】

なお、本願明細書において、「垂直」及び「平行」は、厳密な垂直及び厳密な平行だけではなく、例えば製造工程におけるばらつきなどを含むものであり、実質的に垂直及び実質的に平行であれば良い。

【0093】

50

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明の実施の形態は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、半導体発光装置に含まれる柱部、光学層、発光部、半導体層、発光層、樹脂部、樹脂層、光透過性樹脂、粒子、フィラー、樹脂液、金属柱、金属層、及び、電極などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

【0094】

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

【0095】

その他、本発明の実施の形態として上述した半導体発光装置及びその製造方法を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての半導体発光装置及びその製造方法も、本発明の実施の形態の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

10

【0096】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと了解される。

【符号の説明】

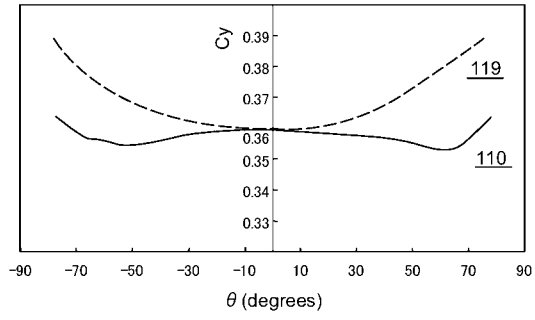
【0097】

5 ... 成長用基板、 10 ... 発光部、 10 a ... 第1面、 10 b ... 第2面、 10 s ... 側面、 11 ... 第1半導体層、 11 a ... 第1半導体部分、 11 b ... 第2半導体部分、 12 ... 第2半導体層、 13 ... 発光層、 31 ... 第1柱部、 31 a ... 第1金属柱、 31 b ... 第1金属層、 31 c ... 第1接続部材、 31 s ... 側面、 32 ... 第2柱部、 32 a ... 第2金属柱、 32 b ... 第2金属層、 32 c ... 第2接続部材、 32 s ... 側面、 41 ... 第1電極、 42 ... 第2電極、 50 ... 樹脂部、 51 ... 絶縁層、 55 ... 樹脂層、 60 ... 光学層、 61 ... 第1部分、 61 a ... 第1領域、 62 ... 第2部分、 62 a ... 第2領域、 63 ... 光透過性樹脂、 64 ... 粒子、 65 ... フィラー、 68 ... 樹脂液、 68 a ... 第1樹脂、 68 b ... 第2樹脂、 ... 粘度、 ... 角度、 110、 119 ... 半導体発光装置、 210 ... 素子部、 310 ... 加工体、 310 a ... 第1主面、 310 r ... 外縁、 320 ... 構造体、 330 ... 処理装置、 331 ... 回転部、 332 ... アーム、 333 ... 処理体搭載部、 340 ... 処理体、 350 ... 遠心力、 C y ... Y値、 t ... 時間、 t1、 t2 ... 厚さ

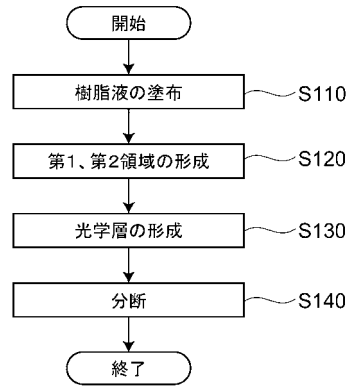
20

30

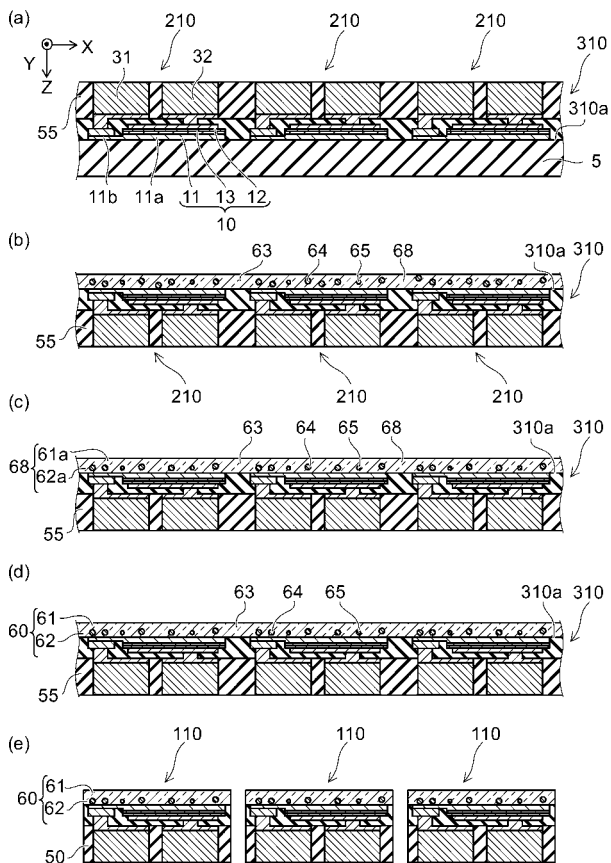
【 図 3 】



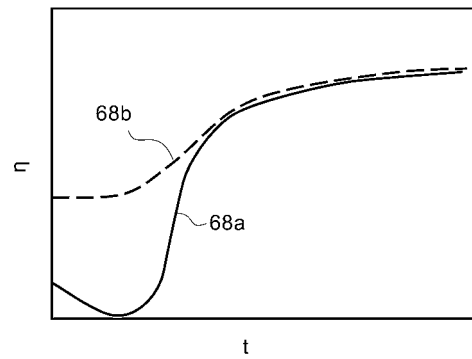
【 図 4 】



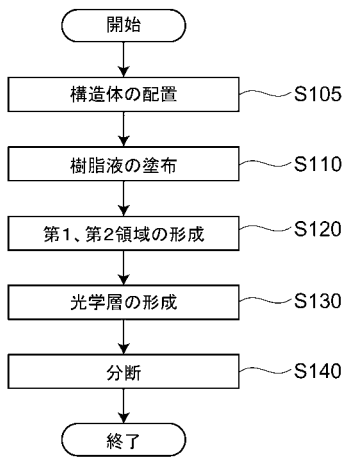
【 図 5 】



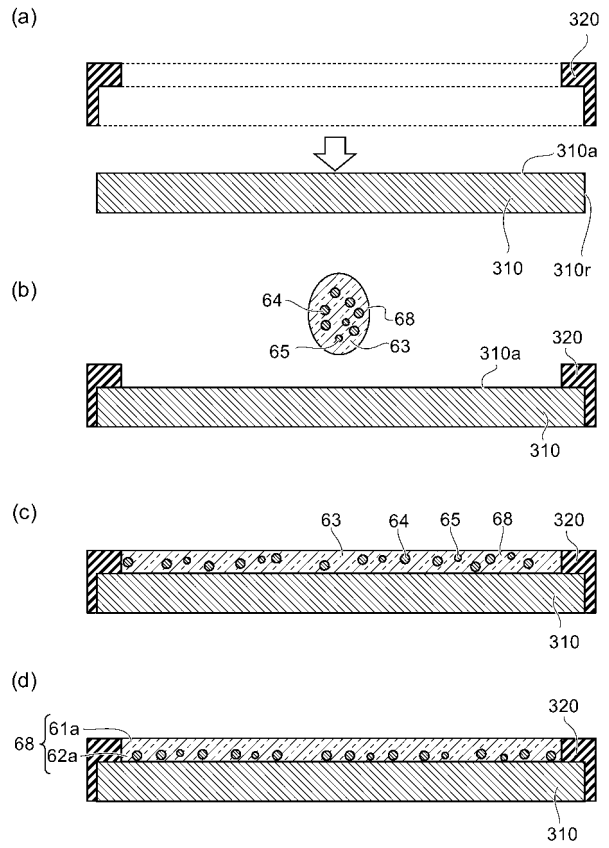
【 図 6 】



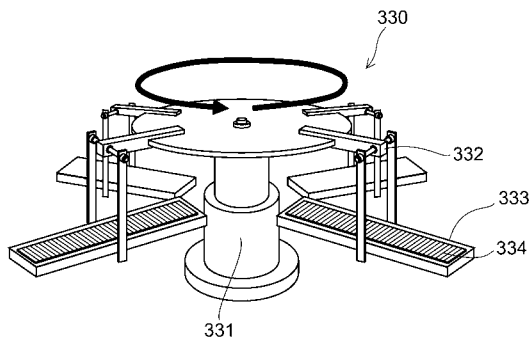
【 図 7 】



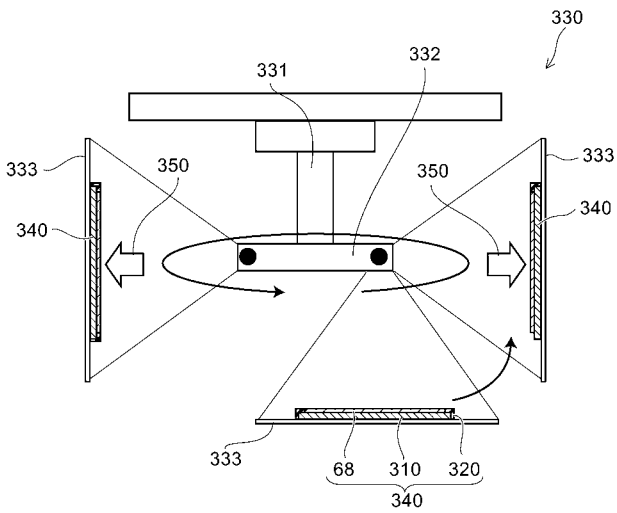
【 図 8 】



【 図 9 】

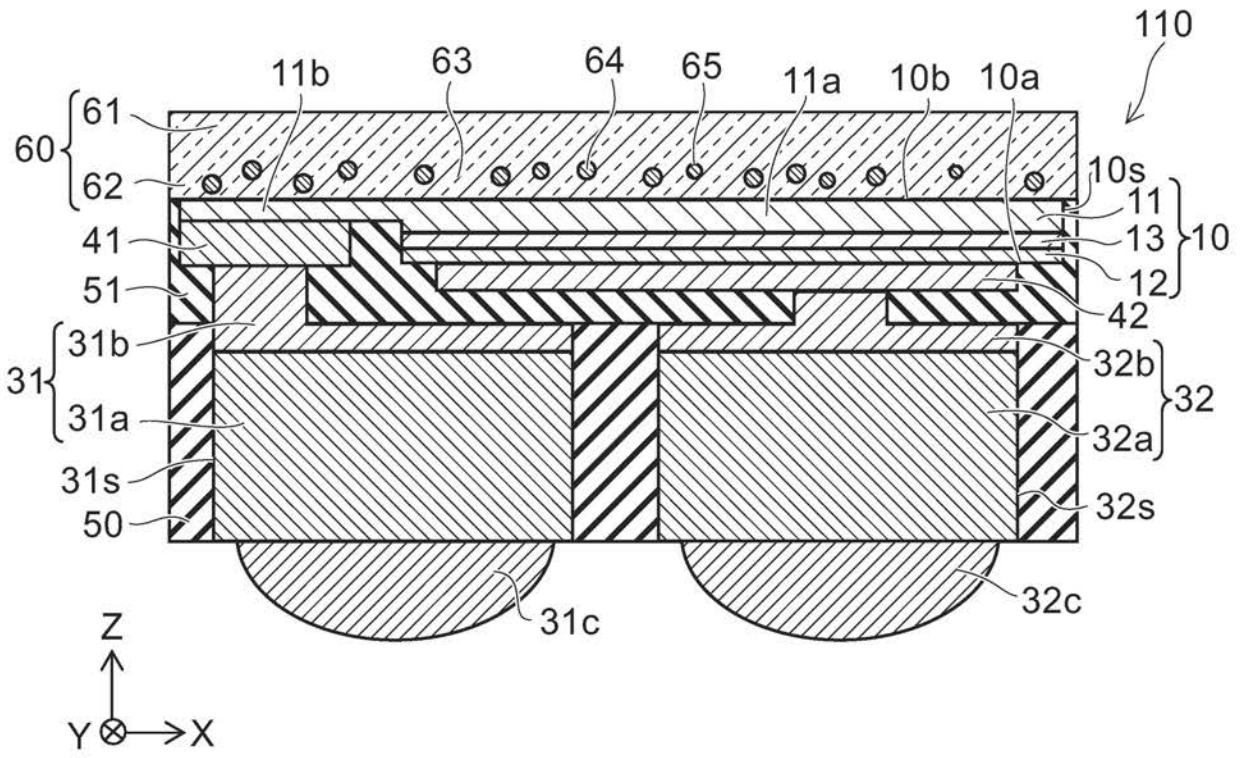


【 図 10 】

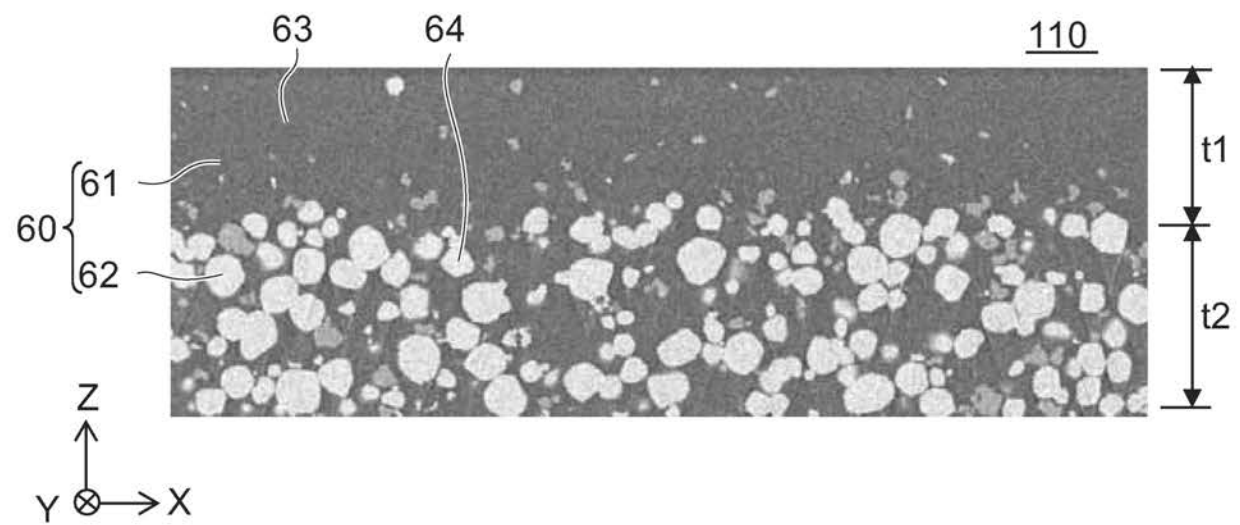


【 図 1 】

(a)



(b)



【 図 2 】

