

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5740350号
(P5740350)

(45) 発行日 平成27年6月24日(2015.6.24)

(24) 登録日 平成27年5月1日(2015.5.1)

(51) Int.Cl.

F 1

HO1L 33/32	(2010.01)	HO1L 33/00	186
HO1L 33/22	(2010.01)	HO1L 33/00	172
HO1L 33/38	(2010.01)	HO1L 33/00	210

請求項の数 12 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2012-124360 (P2012-124360)
(22) 出願日	平成24年5月31日 (2012.5.31)
(62) 分割の表示	特願2011-55859 (P2011-55859) の分割
原出願日	平成23年3月14日 (2011.3.14)
(65) 公開番号	特開2012-195602 (P2012-195602A)
(43) 公開日	平成24年10月11日 (2012.10.11)
審査請求日	平成26年3月13日 (2014.3.13)

(73) 特許権者	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	勝野 弘 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	大場 康夫 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	三木 脍 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

凹凸を有する第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有する第1導電形の第1半導体層と、

前記第1半導体層の前記第2面の側に設けられた第2導電形の第2半導体層と、

前記第1半導体層の前記第2面のうちの第1領域と、前記第2半導体層との間に設けられ、発光光を放出する発光層と、

前記第1半導体層の前記第2面のうちの、前記第1領域とは異なる第2領域において前記第1半導体層と接する第1電極と、

前記第2半導体層の前記発光層とは反対側で前記第2半導体層と接する第2電極と、

前記第2半導体層の前記発光層とは反対側に設けられ前記第1電極と導通する支持基板と、

前記第1電極と前記発光層との間、前記第1電極と前記第2半導体層との間、前記第1電極と前記第2電極との間、及び、前記第2電極と前記支持基板との間に設けられた絶縁層と、

前記支持基板と前記第1電極との間、及び、前記絶縁層と前記支持基板との間に設けられた金属部と、

前記第1電極と前記金属部との間に設けられ、前記第1電極と前記金属部とを接合する中間金属層と、

を備え、

10

20

前記第1面は、前記発光光のピーク波長よりも長いピッチの凹凸を有する凹凸部分と、前記凹凸部分よりも平坦な平坦部分と、を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】

前記第2電極の前記第2半導体層と接する部分は、反射性であることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】

前記金属部は、AuSn合金を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】

前記支持基板は、Ge基板であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1つに記載の半導体発光素子。 10

【請求項5】

前記第1半導体層から前記第2半導体層へ向かう積層方向にみて前記第1及び前記第2半導体層並びに前記発光層と重ならない位置にパッドが設けられ、前記パッド部は前記第2電極と導通されていることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項6】

前記平坦部分は、前記発光光のピーク波長よりも短いピッチの凹凸を有することを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項7】

前記第1半導体層から前記第2半導体層へ向かう積層方向にみたときの前記平坦部分の外縁は、前記積層方向にみたときの前記第1電極と前記第1半導体層との接触面の外縁よりも外側に位置することを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の半導体発光素子。 20

【請求項8】

前記接触面の前記発光光に対する反射率は、前記第2電極の前記第2半導体層に対向する面の前記発光光に対する反射率よりも低いことを特徴とする請求項7記載の半導体発光素子。

【請求項9】

前記平坦部分を覆う誘電体層をさらに備えたことを特徴とする請求項1～8のいずれか1つに記載の半導体発光素子。 30

【請求項10】

前記第1半導体層は、前記第2面に設けられた凹部を有し、

前記第1電極は、前記凹部の底面において前記第1半導体層と接することを特徴とする請求項1～9のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項11】

前記第1半導体層、前記発光層及び前記第2半導体層は、窒化物半導体を含むことを特徴とする請求項1～10のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項12】

前記発光光のピーク波長は、370ナノメートル以上、400ナノメートル以下であることを特徴とする請求項1～11のいずれか1つに記載の半導体発光素子。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

LED (Light Emitting Diode) などの半導体発光素子として、例えばサファイア基板上に形成した結晶層を導電性基板に接合し、サファイア基板を除去する構造がある。この構造では、光取り出し効率を高めるため、サファイア基板を除去することで露出した結晶

層の表面に、凹凸加工を施している。また、光取り出し面となる結晶層の表面には電極を形成せず、サファイア基板を除去した面とは逆側の結晶面にp側電極及びn側電極を形成する構造もある。このような半導体発光素子において、さらなる光取り出し効率の改善が求められている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】T.Fujii, Y.Gao, R.Sharma, E.L.Hu, S.P.DenBaars, and S.Nakamura, *Applied Physics Letters* vol.84 No.6, pp.855-857 (2004)

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の実施形態は、光取り出し効率を改善した半導体発光素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態によれば、凹凸を有する第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有する第1導電形の第1半導体層と、前記第1半導体層の前記第2面の側に設けられた第2導電形の第2半導体層と、前記第1半導体層の前記第2面のうちの第1領域と、前記第2半導体層と、の間に設けられ、発光光を放出する発光層と、前記第1半導体層の前記第2面のうちの、前記第1領域とは異なる第2領域において前記第1半導体層と接する第1電極と、前記第2半導体層の前記発光層とは反対側で前記第2半導体層と接する第2電極と、

20

前記第2半導体層の前記発光層とは反対側に設けられ前記第1電極と導通する支持基板と、前記第1電極と前記発光層との間、前記第1電極と前記第2半導体層との間、前記第1電極と前記第2電極との間、及び、前記第2電極と前記支持基板との間に設けられた絶縁層と、前記支持基板と前記第1電極との間、及び、前記絶縁層と前記支持基板との間に設けられた金属部と、前記第1電極と前記金属部との間に設けられ、前記第1電極と前記金属部とを接合する中間金属層と、を備えたことを特徴とする半導体発光素子が提供される。前記第1面は、前記発光光のピーク波長よりも長いピッチの凹凸を有する凹凸部分と、前記凹凸部分よりも平坦な平坦部分と、を有する。

【図面の簡単な説明】

30

【0006】

【図1】半導体発光素子を示す模式図である。

【図2】半導体発光素子を示す模式的平面図である。

【図3】半導体発光素子の部分拡大図である。

【図4】参考例に係る半導体発光素子を示す模式的断面図である。

【図5】発光光の反射を示す模式的断面図である。

【図6】発光光の反射を示す模式的断面図である。

【図7】半導体発光素子の製造方法を示す模式的断面図である。

【図8】半導体発光素子の製造方法を示す模式的断面図である。

【図9】半導体発光素子の製造方法を示す模式的断面図である。

40

【図10】半導体発光素子を例示する模式的断面図である。

【図11】半導体発光素子を示す模式的断面図である。

【図12】半導体発光素子を示す模式的断面図である。

【図13】半導体発光素子を示す模式的平面図である。

【図14】半導体発光装置を示す模式的断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下、本発明の実施形態を図に基づき説明する。

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、部分間の大きさの比係数などは、必ずしも現実のものと同一とは限らない。また、同じ部分を表す

50

場合であっても、図面により互いの寸法や比係数が異なって表される場合もある。

また、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の実施形態)

図1は、第1の実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式図である。

すなわち、図1(a)は図2のA-A'線矢視の模式的断面図、図1(b)は部分拡大図である。

図2は、第1の実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的平面図である。

図3は、第1の実施形態に係る半導体発光素子の部分拡大図である。

すなわち、図3(a)は模式的断面図、図3(b)は模式的平面図である。

【0009】

図1(a)に表したように、第1の実施形態に係る半導体発光素子110は、積層構造体100と、第1電極50と、第2電極60と、を備える。

【0010】

積層構造体100は、第1導電形の第1半導体層10と、第1半導体層10の一部と対向する第2導電形の第2半導体層20と、第1半導体層10の一部と第2半導体層20とのあいだに設けられた発光層30と、を有する。

【0011】

第1導電形は、例えばn形である。第2導電形は、例えばp形である。なお、第1導電形はp形、第2導電形はn形であってもよい。本実施形態では、第1導電形がn形、第2導電形がp形である場合を例として説明する。

【0012】

積層構造体100は、第1半導体層10側の第1主面100aと、第2半導体層20側の第2主面100bと、有する。また、第1半導体層10の一部は、第2主面100b側に露出している。この一部は第1半導体層10の露出部分10eである。

【0013】

第1電極50は、露出部分10eで第1半導体層10と接する接触部(第1接触部)51を有する。第2電極60は、第2主面100bで第2半導体層20と接する。

【0014】

第1半導体層10の第1主面100aの側の表面は、第1部分11と、第2部分12と、を有する。

第1部分11は、第1半導体層10から第2半導体層20へ向かう方向(積層方向)にみたとき、第1電極50の接触部51における第1半導体層10との接触面50cと重なる部分を有する。ここで、本実施形態では、第1半導体層10と第2半導体層20とをむすぶ方向をZ軸方向、Z軸方向と直交する方向のうち1つをX軸方向、Z軸方向及びX軸方向と直交する方向をY軸方向ということにする。積層方向は、Z軸方向である。

【0015】

第2部分12は、積層方向(Z軸方向)にみたときに、第2半導体層20と重なる部分を有する。第2部分12は、凹凸部12pを有している。凹凸部12pの凹凸は、発光層30から放射される発光光のピーク波長よりも長いピッチを有する。

【0016】

第1部分11は、第2部分12の凹凸よりも平坦である。例えば、第1部分11に凹凸がある場合、この凹凸のピッチは、発光層30から放射される発光光のピーク波長よりも短い。

【0017】

このような半導体発光素子110では、第1部分11が第2部分の凹凸よりも平坦であるため、第1電極50の接触面50cと、第1半導体層10の第1主面100aと、のあいだの発光光の反射の繰り返しを抑制することができる。

【0018】

10

20

30

40

50

次に、本実施形態に係る半導体発光素子 110 の具体例について説明する。

【0019】

本実施形態に係る半導体発光素子 110 において、積層構造体 100 に含まれる第 1 半導体層 10、第 2 半導体層 20 及び発光層 30 は、例えば窒化物半導体である。第 1 半導体層 10、第 2 半導体層 20 及び発光層 30 は、サファイア等の成長用基板の上に、例えば有機金属気相成長法を用いて積層される。

【0020】

なお、本明細書において「窒化物半導体」とは、 $B_xIn_yAl_zGa_{1-x-y-z}N$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, x+y+z=1$) 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、導電型などの各種の物性を制御するために添加される各種の元素をさらに含むもの、及び、意図せずに含まれる各種の元素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。

10

【0021】

図 1 (b) に表したように、積層構造体 100 には、第 2 主面 100b から第 1 半導体層 10 に達する凹部 100t が設けられている。この凹部 100t の底面には、第 1 半導体層 10 の露出部分 10e が含まれる。

【0022】

第 1 電極 50 は、露出部分 10e との接触面 50c を含む接触部 51 と、接触部 51 と導通し、積層構造体 100 の第 2 主面 100b の側に設けられた接合用金属部(第 1 接合用金属部) 53 と、を有する。接合用金属部 53 は、積層方向 (Z 軸方向) にみたときに、第 2 半導体層 20 と重なる部分を有する。

20

【0023】

接触部 51 には、第 1 半導体層 10 との良好なコンタクトを得ることができる材料が用いられる。接触部 51 としては、例えば Al / Ni / Au の積層膜が用いられる。積層膜は、接触面 50c 側から Al / Ni / Au の順に積層され、例えば 300 ナノメートル (nm) の厚さで形成される。

【0024】

接合用金属部 53 には、後述する支持基板 70 と良好な接続を得ることができる材料が用いられる。接合用金属部 53 としては、例えば Ti / Au の積層膜が用いられる。積層膜は、第 2 主面 100b 側から Ti / Au の順に積層され、例えば 800 nm の厚さで形成される。

30

【0025】

第 2 電極 60 は、第 2 主面 100b に沿って設けられた反射部 61 と、反射部 61 から積層構造体 100 の外側に伸びる引き出し部 63 と、を有する。反射部 61 には、発光層 30 から放射された発光光を効率良く反射することができる材料が用いられる。反射部 61 としては、例えば Ag / Pt の積層膜が用いられる。積層膜は、第 2 主面 100b 側から Ag / Pt の順に積層され、例えば 200 nm の厚さで形成される。

【0026】

引き出し部 63 は、積層構造体 100 の外側において露出している。引き出し部 63 は、例えば反射部 61 と同じ材料で、一体的に設けられている。引き出し部 63 の露出している部分には、パッド 65 が設けられている。

40

【0027】

第 2 電極 60 と、接合用金属部 53 (第 1 電極 50) と、のあいだには、絶縁層 40 が設けられている。絶縁層 40 は、積層構造体 100 の第 2 主面 100b 側から凹部 100t の内側面まで設けられる。この絶縁層 40 によって第 1 電極 50 と、第 2 電極 60 と、のあいだの電気的な絶縁が保たれる。また、凹部 100t の内側面に露出している発光層 30 を覆うことで、発光層 30 をパッシベーションしている。絶縁層 40 としては、例えば SiO₂ が用いられる。絶縁層 40 の厚さは、例えば 800 nm である。

【0028】

50

半導体発光素子 110 には、積層構造体 100 等を支持する支持基板 70 が設けられる。支持基板 70 は、接合用金属部 53 によって積層構造体 100 等と接続される。支持基板 70 には、導電性を有する例えば Ge が用いられる。支持基板 70 は、例えば Au-Su 合金によるはんだを介して接合用金属部 53 と接合される。

【0029】

半導体発光素子 110 において、第 1 電極 50 は、n 側電極である。したがって、第 1 電極 50 と導通する支持基板 70 によって、n 側電極（第 1 電極 50）と外部との電気的な導通を得る。

【0030】

また、半導体発光素子 110 において、第 2 電極 60 は、p 側電極である。したがって、パッド 65 にボンディングワイヤ等を接続することにより、p 側電極（第 2 電極 60）と外部との電気的な導通を得る。 10

【0031】

図 2 に表したように、半導体発光素子 110 には、例えば複数の第 1 電極 50 が設けられている。複数の第 1 電極 50 は、Z 軸方向に見たとき、X-Y 平面に沿ってマトリクス状に配置されている。第 1 電極 50 の個数やレイアウトは、適宜選択される。複数の第 1 電極 50 が設けられていると、各第 1 電極 50 から第 2 電極 60 へ電流が拡がり、X-Y 平面内での良好な発光分布を得ることができる。

【0032】

図 3 (a) に表したように、第 2 部分 12 の凹凸部 12p には、複数の突起が設けられている。突起の X 軸方向に沿った最大幅 W は、発光層 30 から放射される発光光の第 1 半導体層 10 中のピーク波長よりも長い。 20

【0033】

これにより、第 1 半導体層 10 と外界との界面における発光光の反射はランバート反射と見なすことができ、光取り出し効率の向上効果がより高くなる。ここで、ピーク波長とは、発光層 30 から放射される発光光のうち、最も強度の高い光の波長である。ピーク波長は、発光光のスペクトル分布のピーク値に対応する波長である。ノイズレベルではない極大値が 2 つ以上あるスペクトルの場合、そのどちらのピーク値の波長を選んでも良い。

【0034】

図 3 (b) に表したように、例えば、第 1 半導体層 10 として窒化物半導体を用いた場合、Z 軸方向にみたときの突起の平面形状が略六角形となるときは、最大幅 W は、六角形の対角する頂点間の幅となる。 30

【0035】

一例として、第 1 半導体層 10 内での発光光のピーク波長が 155 nm である場合、凹凸部 12p の最大幅 W が 155 nm を超えて、3 マイクロメートル (μm) 程度に達するまで光取り出し効率の向上効果を得ることができる。このことから、凹凸部 12p の最大幅 W は、好ましくは発光光のピーク波長の 2 倍以上、さらに好ましくは 10 倍以上であるとよい。

【0036】

このような半導体発光素子 110 では、積層構造体 100 の第 1 主面 100a 側に n 側電極及び p 側電極のいずれも配置されない。したがって、第 1 主面 100a 側に電極が配置された場合に比べて、第 1 主面 100a 側での光取り出し効率が向上する。しかも、第 1 主面 100a に設けられた第 2 部分 12 によって、第 1 半導体層 10 と外界との界面における光取り出し効率の向上効果をより高めることができる。 40

【0037】

発明者らは、光取り出し面の 1 つである第 1 主面 100a に、第 2 部分 12 の凹凸よりも平坦な第 1 部分 11 を設けることによって、第 1 部分 11 を設けない場合に比べて光取り出し効率を向上できることを新たに見出した。

【0038】

ここで、上記の新たに見出した知見について、本実施形態に係る半導体発光素子 110 50

と、参考例に係る半導体発光素子と、の比較を例に説明する。

【0039】

図4は、参考例に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

図4に表したように、参考例に係る半導体発光素子190では、第1半導体層10の第1正面100aに第2部分12のみが設けられている。すなわち、本実施形態に係る半導体発光素子110は、第1部分11を備えているのに対し、参考例に係る半導体発光素子190は、第1部分11を備えていない。

【0040】

発明者らは、このような第1部分11を設けた半導体発光素子110及び第1部分11を設けていない半導体発光素子190について、時間領域有限差分法(FDTD法)によるシミュレーションを行い、光取り出し効率の計算を行った。その結果、第1部分11を設けることで光取り出し効率を向上できる新たな知見を見出した。

【0041】

図5及び図6は、発光光の反射について例示する模式的断面図である。

図5(a)では、本実施形態に係る半導体発光素子での発光光の反射の様子を模式的に示している。図5(b)では、参考例に係る半導体発光素子での発光光の反射の様子を模式的に示している。図6は、本実施形態に係る半導体発光素子での発光光の別の反射の様子を模式的に示している。いずれの図も、発光層30からある角度で放射された発光光の進行及び反射の状態を模式的に示している。

【0042】

図5(b)に表したように、参考例に係る半導体発光素子190において、発光層30から第1正面100aに向かって放射された発光光C20は、統計的にランバート反射するとみなされる。第2部分12の凹凸部12pでランバート反射した光の一部(光C21)は、第1電極50(接触部51)の接触面50cで反射し、再び第2部分12の凹凸部12pに向かう。光C21は凹凸部12pで再びランバート反射する(光C22)。

【0043】

ここで、ランバート反射による光C21の一部は第1電極50(接触部51)の接触面50cに向かう。接触面50cに向かった光C21の一部は接触面50cで吸収され、一部は反射する。すなわち、発光光C20のうち凹凸部12pと第1電極50(接触部51)の接触面50cとのあいだに伝搬した光は、凹凸部12pでのランバート反射及び接触面50cでの反射を繰り返す。この光の反射の繰り返しによって、第1正面100aと第1電極50(接触部51)の接触面50cとのあいだで光の溜まりが発生しやすい。半導体発光素子190では、このような光の溜まりによって、発光光の外部への放出効率が低下する。

【0044】

一方、図5(a)に表したように、本実施形態に係る半導体発光素子110において、発光層30から第1正面100aに向かって放射された発光光C10は、第1部分11で反射する。反射した光C11は、第1電極50(接触部51)の接触面50cで反射し、再び第1部分11に向かう(光C12)。光C11は、第1部分で再び反射する(光C13)。光C13は、第2電極60の反射部61に向かう。反射部61で反射した光C14は、第2部分12の凹凸部12pへ向かう。光C14は第2部分12の凹凸部12pでランバート反射して外部に放出される。

【0045】

ここで、第1部分11は第2部分12に比べて平坦なため、第1部分11に入射した発光光C10の散乱は少ない。所定の角度で第1部分11に入射した発光光C10は、第1部分11でその多くが反射する。このため、第1正面100aと第1電極50(接触部51)の接触面50cとのあいだで幾何光学に従った反射を起こしやすく、発光光C10は、第1正面100aと第1電極50(接触部51)の接触面50cとのあいだで溜まりにくい。すなわち、半導体発光素子110では、第1部分11と接触面50cとの隙間で反射を繰り返した光が、この隙間を素早く通り抜け、第2電極60の反射部61で効率良く

10

20

30

40

50

反射して外部に放出されることになる。

【0046】

この場合、接触面50cにおける反射回数を減らすほど光の損失が減るため、光取り出し効率を高めやすい。例えば、接触面50cの面積を減らすことで反射回数を減らすことができる。また、発明者は、シミュレーションを行った結果、発光層30から放射される発光光の積層構造体100内部での強度分布は、第2部分12と第2電極60の反射部61との間で反射を繰り返す場合、発光層30に対して30度傾いた角度で最大強度を持つことを見出した。

【0047】

これを利用して、発明者は、光損失を最小限に抑える条件を求めた。すなわち、接触面50cを含む平坦部50D(図6参照)と、第1部分11と、がZ軸方向からみた時に同心円であり、平坦部50Dの半径dと、接触面50cから第1部分11までの積層構造体100の厚さをhとして、 $\tan^{-1}(h/d) > 30$ 度を満たす場合、第1部分11に30度で入射する光は、接触面50cに入射することなく平坦部50Dを通り抜けることができる。これにより、光損失を最小限に抑えることができる。

10

【0048】

また、図6に表したように、本実施形態に係る半導体発光素子110において、発光層30から凹部100tの内側面に向かって放射された発光光C30は、凹部100tの内側面で反射する。反射した光C31は第1部分11で外に取り出される光C34と、反射される光C32とに分かれる。光C32は第2電極60の反射部61に向かう。反射部61で反射した光C33は、第2部分12の凹凸部12pへ向かう。光C33は第2部分12の凹凸部12pでランバート反射して外部に放出される。

20

【0049】

第1部分11は第2部分12に比べて平坦なため、第1部分11に入射した発光光C31の散乱は少ない。所定の角度で第1部分11に入射した発光光C31は、第1部分11で透過(C34)または反射(C32)する。凹部100tの内側面の角度を選ぶことで、光C32は接触面50c側ではなく、第2電極60側へ反射する。第2電極60側へ反射した光C32は、接触面50cに入射することなく、第2電極60の反射部61で効率良く反射して外部に放出されることになる。

【0050】

30

特に、凹部100tの第1正面100aに対する角度が60度だった場合、凹部100tの内側面に30度で入射して反射した光C31は第1部分11に対して90度で入射するため、その成分のほぼすべての光が外部に取り出される(C34)。これによって、第2電極60と比較して光損失の大きい接触面50cに入射する光を最小限に抑えつつ、発光光を外に取り出すことができる。

【0051】

具体的なシミュレーションの条件を以下に示す。

接触面50cのZ軸方向からみた直径は10μmとした。接触面50cは、64μmピッチで正方形に並べた。接触面50cから第1部分11の第1正面100aまでの距離は6μmとした。発光層30から第2部分12の凹凸部12pの下までの距離は4μmとした。後述するアルカリ処理で形成した凹凸部12pの最大高さは1μm、凹部100tの角度は75度とした。残りのパラメータは後述する構造として、第1部分11の半分の幅Wをパラメータとして光取り出し効率を計算した。

40

【0052】

その結果、幅Wが約9μmを超えると参考例に係る半導体発光素子190よりも高い光取り出し効率が高くなる傾向にあった。なお、必要以上に幅Wを増やしていくと、光取り出し効率は減少すると考えられる。上記のシミュレーションの条件に基づく構造では、参考例と比較して光取り出し効率を1.1%向上、または光損失(=1-光取り出し効率)を8.2%減少させることができた。

【0053】

50

ここで、積層方向にみたときの第1部分11の外縁は、積層方向にみたときの接触面50cの外縁よりも大きいことが望ましい。すなわち、図2に表したように、第1部分11の外形の面積S1を、接触面50cの外形の面積S2よりも大きくする。また、第1部分11の外縁の形状は、接触面50cの外縁の形状と相似している。これにより、積層方向にみたとき、第1部分11は接触面50cを内包することになる。面積S1を面積S2よりも大きくすることで、第1主面100aと接触面50cとのあいだでの光の溜まりを効果的に抑制できる。

【0054】

光の溜まりは、第1部分11の外形の面積S1が広いほど少なくなる。したがって、第1部分11の外形の面積S1を広くすれば、光取り出し効率が向上する。一方、面積S1が面積S2に対して十分大きくなると、それ以上の改善は見込めなくなる。また、面積S1が広すぎると、第2部分12に設けた凹凸部12pによる光取り出し効率の向上を妨げるようになる。第1部分11の外形及び面積S1は、これらを考慮して設定される。

【0055】

また、第1電極50の接触部51には、第1半導体層10との良好なコンタクトを得られる材料が用いられる。一方、第2電極60の反射部61には、発光光を良好に反射できる材料が用いられる。このような材料の相違から、接触面50cの発光光に対する反射率が、反射部61の発光光に対する反射率よりも低くなることがある。接触面50cの上記反射率が、反射部61の上記反射率よりも低い場合、図5(b)に表した参考例に係る半導体発光素子190では、接触面50cと第1主面100aとのあいだでの光の溜まりによる光損失の影響が大きくなる。

【0056】

これに対し、図5(a)に表した本実施形態に係る半導体発光素子110では、第1部分11で発光光C10及びC30が幾何光学に従った反射を起こしやすく、接触面50cでの上記反射率が低い場合にも、接触面50cに対して最小限の反射回数または入射すること無しで第2部分12へ発光光を導くことができる。その結果、半導体発光素子110では、半導体発光素子190に比べて発光光の外部への放出効率を高めることができる。

【0057】

次に、半導体発光素子110の製造方法の一例について説明する。

図7～図9は、半導体発光素子の製造方法の一例を順に説明する模式的断面図である。

先ず、図7(a)に表したように、サファイア等の成長用基板80の上に、第1半導体層10、発光層30及び第2半導体層20を順に結晶成長させる。これにより、成長用基板80の上に、積層構造体100を形成する。

【0058】

積層構造体100は、例えば有機金属気相成長法を用いて形成される。一例として、積層構造体100は、次のように形成される。

先ず、表面がサファイアc面からなる成長用基板80の上に、バッファ層として、高炭素濃度の第1AlNバッファ層(例えば、炭素濃度が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下で、例えば、厚さが3nm以上、20nm以下)、高純度の第2AlNバッファ層(例えば、炭素濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下で、厚さが2μm)、及びノンドープGaNバッファ層(例えば、厚さが2μm)が、この順に形成される。上記の第1AlNバッファ層、及び、第2AlNバッファ層は、単結晶の窒化アルミニウム層である。第1及び第2AlNバッファ層として単結晶の窒化アルミニウム層を用いることで、後述する結晶成長において高品質な半導体層を形成することができ、結晶に対するダメージが大幅に軽減される。

【0059】

次に、その上に、Siドープn形GaNコンタクト層(例えば、Si濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下で、厚さが6μm)、及びSiドープn形Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(例えば、Si濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で、厚さが0.02μm)が、この順番で順次形成される。Siドープn形GaNコンタクト層、

10

20

30

40

50

及び Si ドープ n 形 $Al_{0.10}Ga_{0.90}N$ クラッド層は、第 1 半導体層 10 である。なお、便宜上、上記 GaN バッファ層の全部または一部を第 1 半導体層 10 に含めてよい。

【0060】

ここで、成長用基板 80 上に形成されるバッファ層としては、上記 AlN に限定されない。例えば、バッファ層に低温成長の $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) 薄膜を用いても良い。

【0061】

次に、その上に、発光層 30 として、Si ドープ n 形 $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ バリア層と、 $GaInN$ 井戸層と、が交互に 3 周期積層され、さらに、多重量子井戸の最終 $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ バリア層においては、例えば Si 濃度が $1.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下とされる。最終 $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ バリア層においては、例えば Si 濃度が $1.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下で、例えば厚さが $0.01 \mu\text{m}$ とされる。このような多重量子井戸構造の厚さは、例えば $0.075 \mu\text{m}$ とされる。この後、Si ドープ n 型 $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ 層（例えば、Si 濃度が $0.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下で、例えば、厚さが $0.01 \mu\text{m}$ ）を形成する。なお、発光層 30 における発光光の波長は、例えば 370 nm 以上、 480 nm 以下、または 370 nm 以上、 400 nm 以下である。

【0062】

さらに、第 2 半導体層 20 として、ノンドープ $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ スペーサ層（例えば厚さが $0.02 \mu\text{m}$ ）、Mg ドープ p 形 $Al_{0.28}Ga_{0.72}N$ クラッド層（例えば、Mg 濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で、例えば、厚さが $0.02 \mu\text{m}$ ）、Mg ドープ p 形 GaN コンタクト層（例えば、Mg 濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で、厚さが $0.4 \mu\text{m}$ ）、及び、高濃度 Mg ドープ p 形 GaN コンタクト層（例えば、Mg 濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で、例えば、厚さが $0.02 \mu\text{m}$ ）が、この順で順次形成される。

なお、上記の組成、組成比、不純物の種類、不純物濃度及び厚さは一例であり、種々の変形が可能である。

【0063】

なお、高濃度 Mg ドープ p 形 GaN コンタクト層の Mg 濃度を約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ と高めに設定することで、第 2 電極 60 とのオーミック特性を向上させることができる。ただし、半導体発光ダイオードの場合、半導体レーザダイオードとは異なり、高濃度 Mg ドープ p 形 GaN コンタクト層と発光層 30 との距離が近いため、Mg 拡散による特性の劣化が懸念される。そこで、第 2 電極 60 と高濃度 Mg ドープ p 形 GaN コンタクト層との接触面積が広く、動作時の電流密度が低いことを利用して、電気特性を大きく損ねることなく高濃度 Mg ドープ p 形 GaN コンタクト層の Mg 濃度を約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ に抑えることで、Mg の拡散を防ぐことができ、発光特性を改善させることができる。

【0064】

また、高炭素濃度の第 1 AlN バッファ層は成長用基板 80 との結晶型の差異を緩和する働きをし、特に螺旋転位を低減する。また、高純度第 2 AlN バッファ層の表面は、原子レベルで平坦化される。そのため、この上に成長するノンドープ GaN バッファ層の結晶欠陥が低減される。なお、結晶欠陥を十分に低減するには、第 2 AlN バッファ層の膜厚を、 $1 \mu\text{m}$ よりも厚くすることが好ましい。また、歪みによる反りを防止のためには、膜厚を、 $4 \mu\text{m}$ 以下にすることが望ましい。高純度第 2 AlN バッファ層は、AlN に限らず、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0.8 < x < 1$) でもよく、成長用基板 80 の反りを補償することができる。

【0065】

また、ノンドープ GaN バッファ層は、高純度第 2 AlN バッファ層の上で、3 次元島状に成長する。これにより、ノンドープ GaN バッファ層は、結晶欠陥低減の役割を果たす。成長表面の平坦化のためには、ノンドープ GaN バッファ層の平均膜厚を $2 \mu\text{m}$ 以上

10

20

30

40

50

にすることが望ましい。再現性とそり低減の観点からノンドープGaNバッファ層の総膜厚は、2μm以上、10μm以下が好ましい。

これらのバッファ層を採用することで、低温成長AlNバッファ層を採用する場合と比較して、結晶欠陥を約1/10に低減することができる。この技術によって、n型GaNコンタクト層への高濃度Siドーピングや、紫外帯域発光でありながらも高効率な半導体発光素子が製造される。また、ノンドープGaNバッファ層における結晶欠陥を低減することにより、ノンドープGaNバッファ層での光の吸収も抑制される。

【0066】

次に、図7(b)に表したように、積層構造体100の一部に凹部100tを形成する。凹部100tは、積層構造体100の第2正面100bから第1半導体層10にまで達する。これにより、凹部100tの底部に第1半導体層10が露出する(露出部分10e)。

【0067】

凹部100tを形成するには、積層構造体100の第2正面100b上に図示しないマスクを形成し、例えばドライエッチングを行う。すなわち、マスクには、凹部100tを形成する部分に開口が設けられていて、エッチングによって積層構造体100が第2正面100bから第1半導体層10まで除去される。これにより、凹部100tが形成される。凹部100tの内側面の角度は、特に限定されるものではないが、発光層30からの発光光が最大強度を持つ30度の光を進行方向とは逆方向に反射させる角度として、60度以上が好ましい。

【0068】

次に、第2半導体層20と接する第2電極60を形成する。第2電極60としては、先ず、第2半導体層20の表面に、オーミック電極となるAg/Ptの積層膜を例えば200nmの膜厚で形成し、酸素雰囲気中で約400、1分でシンター処理を行う。次に、オーミック電極の上に、電流拡散用および後で述べるパッド65への接合金属用及び後述する絶縁層40への接着金属として、例えば、Ti/Au/Tiの積層膜を例えば400nmの膜厚で形成する。

【0069】

ここで、第2電極60は、少なくともAgまたはその合金を含む。通常の金属単層膜の可視光帯域に対する反射効率は、400nm以下の紫外域では波長が短くなるほど低下する傾向にある。Agは370nm以上400nm以下の紫外帯域の光に対しても高い反射効率特性を有する。そのため、紫外発光の半導体発光素子で、かつ第2電極60がAgを含む合金の場合、半導体界面側の第2電極60は、Agの成分比が大きいほうが望ましい。第2電極60の膜厚は、光に対する反射効率を確保するため、100nm以上であることが好ましい。

【0070】

次に、図7(c)に表したように、第2電極60及び凹部100tを覆うように、絶縁層40を形成する。絶縁層40として、例えばSiO₂を800nmの膜厚で形成する。

【0071】

次に、オーミック特性を有するn側電極を形成するため、凹部100t内の露出部分10eの上にある絶縁層40を除去する。そして、そこに、例えば、Al/Ni/Auの積層膜を例えば300nmの膜厚で形成する。これにより、接触部51が形成される。

【0072】

接触部51の第1層に例えばAlを用いると、n型コンタクト層と良好なオーミック特性及び低コンタクト特性を得られる。また、接触部51は反射電極にもなり得るため、Alを第1層とすることで、光取り出し効率やn側電極の設計自由度が向上する。Alは耐環境性が低いため、例えばSiをわずかに含有したAl合金を採用することで、信頼性や密着性を向上させることができる。なお、接触部51の材料は上記に限定されない。例えば、より低コンタクト特性を得るために、Ti/Al/Ni/Auの積層膜を例えば320nmの膜厚で形成し、窒素雰囲気中で600、1分のシンター処理を行ってもよい。

10

20

30

40

50

その場合、第2電極60よりも前にn側電極を形成し、絶縁層40を形成した後にn側電極上の絶縁層40に穴を開ける工程を追加すればよい。

【0073】

次に、図8(a)に表したように、接触部51及び絶縁層40が露出した面全体に、接合用金属部53として、例えばTi/Auの積層膜を800nmの膜厚で形成する。

【0074】

次に、例えばGeからなる支持基板70を用意する。支持基板70の正面には、例えば膜厚3μmのAuSn合金によるはんだ(図示せず)が設けられている。そして、接合用金属部53と、はんだと、を対向させて、はんだの共晶点以上の温度、例えば300℃に加熱する。これにより、支持基板70を積層構造体100の第2正面100bの側に接合する。

10

【0075】

そして、図8(b)に表したように、積層構造体100に対して成長用基板80の側から、例えばYVO₄の固体レーザの三倍高調波(355nm)または四倍高調波(266nm)のレーザ光LSRを照射する。レーザ光LSRは、GaNバッファ層(例えば、上記のノンドープGaNバッファ層)のGaNの禁制帯幅に基づく禁制帯幅波長よりも短い波長を有する。すなわち、レーザ光LSRは、GaNの禁制帯幅よりも高いエネルギーを有する。

【0076】

このレーザ光LSRは、GaNバッファ層(ノンドープGaNバッファ層)のうち、単結晶AlNバッファ層(この例では第2AlNバッファ層)の側の領域において効率的に吸収される。これにより、GaNバッファ層のうち単結晶AlNバッファ層の側のGaNは、発熱により分解する。

20

【0077】

ここで、成長用基板80上の積層構造体100と支持基板70とを接着させる工程や、レーザ光でGaNを分解して成長用基板80を剥離する工程では、積層構造体100の結晶に欠陥等の影響が及ぶ可能性がある。すなわち、積層構造体100は、支持基板70と成長用基板80またはGaNとの熱膨張係数差、局所的に加熱されることによる熱、GaNが分解することにより発生する生成物、等によって影響を受ける可能性がある。

【0078】

30

本実施形態では、AlNバッファ層として単結晶AlNバッファ層を用いることから、高品質な積層構造体100を形成することができる。これにより、結晶に対する欠陥等の発生を大幅に軽減することができる。

【0079】

また、単結晶AlNバッファ層は高熱伝導特性を有する。このため、GaNをレーザ光で分解する際、GaNのすぐそばにあるAlNバッファ層に熱が拡散し、局所的な加熱によるダメージを受けにくい。

【0080】

そして、塩酸処理などによって、分解されたGaNを除去し、成長用基板80を積層構造体100から剥離する。これにより、成長用基板80と、積層構造体100と、が分離する。

40

【0081】

次に、露出した積層構造体100の第1正面100aへの凹凸の形成およびパッド65の形成を行う。

先ず、図9(a)に表したように、積層構造体100の一部をドライエッティングで除去し、第2電極60の一部(引き出し部63)を露出させる。次に、積層構造体100の第1正面100aの全面に誘電体45を形成し、一部に開口を設ける。誘電体45としては、例えばSiO₂が用いられる。誘電体45の膜厚は、例えば800nmである。誘電体45の開口からは、例えばノンドープGaNバッファ層の表面が露出する。

【0082】

50

次に、図9(b)に表したように、開口が設けられた誘電体45をマスクとして、ノンドープGaNバッファ層の表面を、例えばKOH溶液によるアルカリエッティングにより加工して、凹凸部12pを形成する。エッティング条件としては、例えば1モル(mol)/リットル(L)のKOH溶液を80℃に加熱して、20分間のエッティングを行う。その後、第1部分11上に残った誘電体45は除去してもよい。

【0083】

このように、誘電体45の開口が設けられた部分には凹凸部12pが形成される。すなわち、凹凸部12pを含む第2部分12が形成される。一方、誘電体45が設けられた部分には凹凸部12pが形成されない。すなわち、第1主面100aにおいて誘電体45が設けられた部分は、第2部分12よりも平坦な第1部分11となる。なお、第1部分11及び第2部分12は、Siドープn形GaNコンタクト層に設けられてもよい。

10

【0084】

ここで、凹凸部12pの形成方法は、上記のようなウェットエッティングでもよいし、ドライエッティングでもよい。KOH溶液などによるアルカリエッティングでは、GaN結晶の面方位(主に{10-1-1})に沿って異方性エッティングされ、その結果として六角錐の構造が形成される。また、エッティング温度、エッティング時間、別の物質を添加することで調整される水素イオン指数(pH)、濃度、紫外線(UV)光及びUVレーザ照射の有無などで、エッティングレート、六角錐の大きさ及び密度が大きく変化する。

【0085】

一般的に、エッティング量(エッティング前の表面から、エッティング後にできた凹凸部12pの最も深い所までの深さ)が大きいほど、凹凸部12pは大きく、かつ、密に形成される。GaNをドライエッティングで加工する場合、N面は、Ga面とは異なり、結晶方位や転移の影響を受けやすく、異方性エッティングされやすい。c面サファイア基板上に成長させたGaNの表面は、通常Ga面であり、本実施形態のようにサファイア基板を除去することで露出したGaNの表面はN面となっている。したがって、ドライエッティングによる異方性エッティングによって凹凸部12pを形成することは容易である。また、マスクを用いたドライエッティングにより凹凸部12pを形成してもよい。これにより、設計どおりの凹凸部12pを形成できるため、光取り出し効率を高めやすい。

20

【0086】

凹凸部12pは、例えば入射した発光光を有効に取り出すため、または入射角度を変えるために設けられる。このため、その大きさは結晶層内における発光光の波長以上であることが好ましい。凹凸部12pが発光光の波長よりも小さいと、凹凸部12pに入射した発光光は凹凸部12pの界面で散乱や回折等の波動光学で説明される挙動を示す。これにより、本来透過していた発光光も一部取り出されなくなる。また、凹凸部12pが発光光の波長よりも十分小さいと、凹凸部12pは連続的に屈折率が変化する層として見なされる。このため、凹凸のない平坦な面と同様になり、光取り出し効率は改善されない。

30

【0087】

本実施形態で作製した発光光の波長390nmの半導体発光素子(結晶層内の発光波長は約155nm)を用いた実験結果では、凹凸部12pの大きさが大きくなるほど光出力が増加する傾向を示した。この増加傾向は、凹凸部12pの大きさが3μm程度になるまで緩やかに続いた。このことから、凹凸部12pの大きさは、好ましくは結晶層内の発光波長の2倍以上、さらに好ましくは10倍以上であるほうがよいことが分かった。

40

【0088】

そして、引き出し部63を被覆している誘電体45の一部を除去し、その領域にパッド65を形成する。パッド65としては、例えばTi/Auの積層膜が用いられる。パッド65の膜厚は、例えば800nmである。このパッド65にはボンディングワイヤが接続される。ボンディング特性を向上させるため、パッド65の表面に例えばめっきによってAuを厚く(例えば10μm)形成することが望ましい。

【0089】

その後、誘電体45を除去し、必要に応じて劈開またはダイヤモンドブレード等により

50

、支持基板 70 を切断する。これにより、半導体発光素子 110 が完成する。

【0090】

上記のように、凹凸部 12p の形成に KOH などのアルカリ溶液による異方性エッチングを利用した場合、わずかな構造や電荷状態の揺らぎでエッチングレートが変化する。このため、エッチング量の制御が難しい。図 4 に表した参考例に係る半導体発光素子 190 のように、接触面 50c の上の第 1 主面 100a に凹凸部 12p を形成する場合、エッチング量の余裕度を考慮して、接触面 50c 上の第 1 半導体層 10 の厚さをある程度厚く設計する必要がある。これにより、接触面 50c と第 1 主面 100a との隙間に多くの発光光が伝播する結果となり、光取り出し効率がより低下する。

【0091】

一方、接触面 50c 上の第 1 主面 100a に凹凸部 12p が設けられていない本実施形態の半導体発光素子 110 では、接触面 50c 上の第 1 半導体層 10 の厚さを薄く設計することができる。これにより、接触面 50c と第 1 主面 100a との隙間に発光光が入り込みにくい構造になる。

また、積層構造体 100 において、上記の隙間は構造上最も薄い部分である。この部分に凹凸部 12p を設けないことで、半導体発光素子 110 の機械的な強度を向上できることになる。

【0092】

なお、上記に説明した製造方法では、凹凸部 12p を形成したあと、図 9 (b) に表した第 1 部分 11 上の誘電体 45 を除去しているが、第 1 部分 11 上の誘電体 45 を除去せずに残しておくようにしてもよい。これにより、誘電体 45 を除去する工程を省略することができ、製造工程の簡素化を図ることができる。また、アルカリ処理などの薬液処理で、第 1 半導体層 10 内に含まれる貫通転移を通って n 側電極が侵されることが無いよう、第 2 半導体層 20 及び発光層 30 が除去された領域を誘電体 45 で覆うことで、電気特性、光取り出し効率、及び信頼性を向上させることができる。

【0093】

(第 2 の実施形態)

図 10 は、第 2 の実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

すなわち、図 10 (a) は、第 2 の実施形態に係る半導体発光素子 (その 1) を例示し、図 10 (b) は、第 2 の実施形態に係る半導体発光素子 (その 2) を例示している。

【0094】

図 10 (a) 及び (b) に表したように、半導体発光素子 120 及び 121 では、第 1 電極 50 における接触部 51 及び接合用金属部 53 が一体的に設けられている。

すなわち、半導体発光素子 120 及び 121 では、接触部 51 及び接合用金属部 53 が同じ材料によって一体的に形成されている。接触部 51 及び接合用金属部 53 には、例えば A1 を含む材料が用いられる。

【0095】

図 10 (a) に表した半導体発光素子 120 と、図 10 (b) に表した半導体発光素子 121 とは、積層構造体 100 に設けられた凹部 100t 及び 100t' の深さが相違する。半導体発光素子 120 の凹部 100t は、半導体発光素子 110 の凹部 100t と同様である。接触部 51 及び接合用金属部 53 を一体的に設けた第 1 電極 50 は、この凹部 100t 内に埋め込まれるとともに、絶縁層 40 を介して第 2 主面 100b の側に、第 2 主面 100b に沿って形成される。

【0096】

また、図 10 (b) に表した半導体発光素子 121 の凹部 100t' は、凹部 100t よりも浅い。すなわち、凹部 100t' の底部は、発光層 30 と第 1 半導体層 10 との境界付近に設けられている。凹部 100t' を浅くすることで、第 1 電極 50 の埋め込みが容易となる。また、第 1 電極 50 の厚さを薄くすることもでき、半導体発光素子 121 の全体の薄型化を図ることができる。

【0097】

(第3の実施形態)

図11は、第3の実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

すなわち、図11(a)は、第3の実施形態に係る半導体発光素子(その1)を例示し、図11(b)は、第3の実施形態に係る半導体発光素子(その2)を例示している。

【0098】

図11(a)及び(b)に表したように、半導体発光素子130及び131では、第1電極50として、接合用金属部53と、絶縁層40と、のあいだに中間金属層55が設けられている。

10

【0099】

図11(a)に表した半導体発光素子130では、中間金属層55が接触部51から絶縁層40に沿って延在するように設けられている。接触部51は、中間金属層55の一部である。接合用金属部53は、この中間金属層55を介して設けられている。中間金属層55には、第1半導体層10及び接合用金属部53と良好なコンタクトを得られる材料が用いられる。

【0100】

中間金属層55は、図7(c)に表したように、絶縁層40を形成し、露出部分100eに開口を形成した後、絶縁層40及び露出部分100eを覆うように形成される。その後、中間金属層55の上に接合用金属部53が形成される。

20

【0101】

図11(b)に表した半導体発光素子131では、中間金属層55の一部が接触部51に接触している。中間金属層55は、接触部51との接触位置から絶縁層40に沿って延在するように設けられている。接合用金属部53は、この中間金属層55を介して設けられている。中間金属層55には、接触部51及び接合用金属部53と良好なコンタクトを得られる材料が用いられる。

【0102】

中間金属層55は、図7(c)に表したように、接触部51を形成した後、絶縁層40及び接触部51を覆うように形成される。その後、中間金属層55の上に接合用金属部53が形成される。

30

【0103】

半導体発光素子130及び131では、中間金属層55が設けられていることから、接触部51と、接合用金属部53と、のあいだの電気的な導通性及び機械的な接合性を向上させることが可能になる。

【0104】

(第4の実施形態)

図12及び図13は、第4の実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

図12は、図13のB-B'線矢視の模式的断面図である。

図13は、第4の実施形態に係る半導体発光素子の模式的平面図である。

40

【0105】

図12及び図13に表したように、本実施形態に係る半導体発光素子140においては、第2電極60は、支持基板70上に第2電極60の一部である接合用金属部(第2接合用金属部)67と、積層構造体100の第2半導体層20と接触する接触部(第2接触部)69とを有する。

【0106】

積層構造体100の第2主面100bにおける凹部100tには第1電極50が設けられている。第1電極50は積層構造体100の外側に延びて一部が露出している。この露出した部分にパッド65が設けられている。

【0107】

50

第2電極60の接合用金属部67の一部は第1電極50と重なる。接合用金属部67と第1電極50との間には絶縁層40が設けられている。本実施形態においては、第1電極50のうち第1半導体層10と接する側を接触部(第1接触部)とする。なお、図13においては誘電体45を省略して示している。

【0108】

このような半導体発光素子140の製造方法の一例を説明する。

先ず、成長用基板80上に積層構造体100を形成する。ここまででは、第1の実施形態と同じである。

【0109】

次に、積層構造体100の一部に凹部100tを形成する。凹部100tは、積層構造体100の第2主面100bから第1半導体層10にまで達する。これにより、凹部100tの底部に第1半導体層10が露出する。 10

【0110】

次に、第1半導体層10と接する第1電極50を形成する。第1電極50としては、先ず、露出した第1半導体層10の表面に、オーミック電極となるTi/A1/Ni/Auの積層膜を、例えば300nmの膜厚で形成し、窒素雰囲気中で600、5分でシンター処理を行う。次に、オーミック電極の上に、電流拡散用及びパッドへの接合金属用、並びに絶縁層への接着金属として、例えば、Ti/Au/Tiの積層膜を、例えば400nmの膜厚で形成する。

【0111】

次に、第1電極50及び凹部100tを覆うように、絶縁層40を形成する。絶縁層40として、例えばSiO₂を800nmの膜厚で形成する。 20

【0112】

次に、オーミック特性を有するp電極を形成するため、第2半導体層20の上にある絶縁層40を除去する。そして、そこに、オーミック電極となるAg/Ptの積層膜を、例えば200nmの膜厚で形成し、酸素雰囲気中で約400、1分でシンター処理を行い、第2電極60の接触部69を形成する。

【0113】

次に、接触部69及び絶縁層40が露出した面全体に、接合用金属部67として、例えばTi/Pt/Auの積層膜を、例えば800nmの膜厚で形成する。 30

【0114】

次に、例えばGeからなる支持基板70を用意する。支持基板70の主面には、例えば膜厚3μmのAuSn合金によるはんだ(図示せず)が設けられている。そして、接合用金属部67と、はんだと、を対向させて、はんだの共晶点以上の温度、例えば300に加熱する。これにより、支持基板70を積層構造体100の第2主面100bの側に接合する。

【0115】

そして、積層構造体100に対して成長用基板80の側から、例えばYVO₄の固体レーザの三倍高調波(355nm)または四倍高調波(266nm)のレーザ光LSRを照射する。 40

【0116】

そして、塩酸処理などによって、分解されたGaNを除去し、成長用基板80を積層構造体100から剥離する。これにより、成長用基板80と、積層構造体100と、が分離する。

【0117】

次に、露出した積層構造体100の第1主面100aへの凹凸の形成およびパッド65の形成を行う。

先ず、積層構造体100の一部をドライエッチングで除去し、第1電極50の一部(引き出し部63)を露出させる。次に、積層構造体100の第1主面100aの全面に誘電体45を形成し、一部に開口を設ける。誘電体45としては、例えばSiO₂が用いられ 50

る。誘電体45の膜厚は、例えば800nmである。誘電体45の開口からは、例えばノンドープGaNバッファ層の表面が露出する。

【0118】

次に、開口が設けられた誘電体45をマスクとして、ノンドープGaNバッファ層の表面を、例えばKOH溶液によるアルカリエッティングにより加工して、凹凸部12pを形成する。エッティング条件としては、例えば1mol/LのKOH溶液を80に加熱して、20分間のエッティングを行う。その後、第1部分11上に残った誘電体45は除去してもよい。

【0119】

このように、誘電体45の開口が設けられた部分には凹凸部12pが形成される。すなわち、凹凸部12pを含む第2部分12が形成される。一方、誘電体45が設けられた部分には凹凸部12pが形成されない。すなわち、第1主面100aにおいて誘電体45が設けられた部分は、第2部分12よりも平坦な第1部分11となる。なお、第1部分11及び第2部分12は、Siドープn形GaNコンタクト層に設けられてもよい。

【0120】

そして、引き出し部を被覆している誘電体45の一部を除去し、その領域にパッド65を形成する。パッド65としては、例えばTi/Pt/Auの積層膜が用いられる。パッド65の膜厚は、例えば800nmである。このパッド65にはボンディングワイヤが接続される。ボンディング特性を向上させるため、パッド65の表面に例えばめっきによってAuを厚く(例えば10μm)形成することが望ましい。

【0121】

その後、必要に応じて劈開またはダイヤモンドブレード等により、支持基板70を切断する。これにより、半導体発光素子140が完成する。

【0122】

第4の実施形態に係る半導体発光素子140では、第2電極60と支持基板70とが金属層で接続されているため、発光層30で発生した熱は、金属層を介して支持基板70へ放熱される。そのため、放熱性に優れており、熱抵抗が低いため、電流増大による温度上昇を抑えることができる。これにより、素子あたりの投入電力を増やせることや、放熱部材を簡素化できることから、この半導体発光素子140を用いた半導体発光装置の小型、軽量化、低コスト化が可能になる。

【0123】

なお、第1電極50と第2電極60の層間絶縁層として形成する絶縁層40は、金属層(第1実施形態では第2電極60、第4実施例では第1電極50)全体を覆う必要がある。金属層に段差がある場合、なるべく高温で誘電体膜を形成したほうが金属層に対するカバーレージは良くなる。

【0124】

また、第4の実施形態に係る半導体発光素子140では、比較的高温でシンター処理をした第1電極50に層間絶縁層となる絶縁層40を形成するため、十分温度を上げて誘電体膜を形成することができる。これにより、カバーレージに対する設計マージンを広く取ることができるため、歩留りの改善やコストを下げることができる。

【0125】

図14は、実施形態に係る半導体発光素子を用いた半導体発光装置の構成を例示する模式的断面図である。

本具体例では、第1の実施形態に係る半導体発光素子110が用いられているが、半導体発光装置には他の実施形態に係る半導体発光素子120、121、130及び131を用いることもできる。

半導体発光装置500は、半導体発光素子110と、蛍光体と、を組み合わせた白色LEDである。すなわち、本実施形態に係る半導体発光装置500は、半導体発光素子110と、半導体発光素子110から放出された光を吸収し、前記光とは異なる波長の光を放出する蛍光体と、を備える。

10

20

30

40

50

【0126】

図14に表したように、本実施形態に係る半導体発光装置500では、セラミック等からなる容器72の内面に反射膜73が設けられている。反射膜73は、容器72の内側面と底面に分離して設けられている。反射膜73は、例えばアルミニウムからなるものである。このうち容器72の底部に設けられた反射膜73の上に、半導体発光素子110がサブマウント74を介して設置されている。

【0127】

半導体発光素子110は、第1主面100a側を上に向け、例えば、低温はんだを用いて、サブマウント74に支持基板70の裏面が固定されている。これら半導体発光素子110、サブマウント74及び反射膜73の固定には、接着剤による接着を用いることも可能である。

10

【0128】

サブマウント74の半導体発光素子110側の表面には電極75が設けられている。半導体発光素子110の支持基板70は、電極75の上にマウントされる。これにより、電極75は、支持基板70を介して第1電極50と導通する。パッド65は、容器72側に設けられた図示しない電極に対してボンディングワイヤ76により接続されている。これらの接続は、内側面の反射膜73と、底面の反射膜73と、の間の部分において行われている。

【0129】

また、半導体発光素子110及びボンディングワイヤ76を覆うように赤色蛍光体を含む第1蛍光体層81が設けられている。また、この第1蛍光体層81の上には青色、緑色または黄色の蛍光体を含む第2蛍光体層82が形成されている。この蛍光体層の上にはシリコーン樹脂等の蓋部77が設けられている。

20

【0130】

第1蛍光体層81は、樹脂及びこの樹脂中に分散された赤色蛍光体を含む。

赤色蛍光体としては、例えば Y_2O_3 、 YVO_4 、 $Y_2(P,V)O_4$ を母材として用いることができ、これに3価のEu(Eu^{3+})を付活物質として含ませる。すなわち、 $Y_2O_3 : Eu^{3+}$ 、 $YVO_4 : Eu^{3+}$ 等を赤色蛍光体として用いることができる。Eu $^{3+}$ の濃度は、モル濃度で1%~10%とすることができる。

【0131】

30

赤色蛍光体の母材としては、 Y_2O_3 、 YVO_4 の他に、 LaO_5 や $Y_2(P,V)O_4$ 等を用いることができる。また、Eu $^{3+}$ の他にMn $^{4+}$ 等を利用することもできる。特に、 YVO_4 母体に、3価のEuと共に少量のBiを添加することにより、380nmの吸収が増大するので、さらに発光効率を高くすることができる。また、樹脂としては、例えば、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0132】

また、第2蛍光体層82は、樹脂、並びに、この樹脂中に分散された青色、緑色及び黄色の少なくともいずれかの蛍光体、を含む。例えば、青色蛍光体と緑色蛍光体を組み合わせた蛍光体を用いても良く、また、青色蛍光体と黄色蛍光体とを組み合わせた蛍光体を用いても良く、青色蛍光体、緑色蛍光体及び黄色蛍光体を組み合わせた蛍光体を用いても良い。

40

【0133】

青色蛍光体としては、例えば(Sr, Ca)₁₀(PO₄)₆Cl₂ : Eu²⁺やBaMg₂Al₁₆O₂₇ : Eu²⁺を用いることができる。

緑色蛍光体としては、例えば3価のTbを発光中心とする $Y_2SiO_5 : Ce^{3+}$ 、Tb $^{3+}$ を用いることができる。この場合、CeイオンからTbイオンへエネルギーが伝達されることにより励起効率が向上する。緑色蛍光体としては、例えば、Sr₄Al₁₄O₂₅ : Eu²⁺を用いることができる。

【0134】

黄色蛍光体としては、例えば $Y_3Al_5 : Ce^{3+}$ を用いることができる。

50

また、樹脂として、例えば、シリコーン樹脂を用いることができる。特に、3価のTbは、視感度が最大となる550nm付近に鋭い発光を示すので、3価のEuの鋭い赤色発光と組み合わせると発光効率が著しく向上する。

【0135】

本実施形態に係る半導体発光装置500によれば、半導体発光素子110から発生した例えば波長380nmの紫外光は、半導体発光素子110の上方および側方に放出される。さらに、反射膜73で反射した紫外光によって、各蛍光体層に含まれる上記蛍光体は効率良く励起される。例えば、第1蛍光体層81に含まれる3価のEuを発光中心とする上記蛍光体は、620nm付近の波長分布の狭い光に変換される。これにより、赤色可視光を効率良く得ることが可能である。

10

【0136】

また、第2蛍光体層82に含まれる青色、緑色、黄色の蛍光体が励起されることによって、青色、緑色、黄色の可視光を効率良く得ることができる。さらに、これらの混色として、白色光やその他様々な色の光を、高効率でかつ演色性良く得ることが可能である。

半導体発光装置500によれば、高効率で所望を色の光を得ることができる。

【0137】

以上説明したように、実施形態に係る半導体発光素子110、120、121、130及び131によれば、光取り出し効率を改善することができる。

【0138】

上記に本実施の形態およびその変形例を説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

20

例えば、積層構造体100の形成方法としては、有機金属気相成長法のほか、分子線エピタキシャル成長法等の他の技術を用いることができる。

また、支持基板70は、導電性を有する材料であって、上記に示したGeに限定されない。支持基板70としては、Siなどの半導体基板、Cu、CuWなどの金属板を用いることができる。また、支持基板70の全体で導電性を有する必要はなく、樹脂などの絶縁性の基材の表面に金属配線等の導体が形成されているものでもよい。

量子井戸層の発光波長は、上記に限定されない。量子井戸層に、例えば、GaInNの窒化ガリウム系化合物半導体を用いる場合は375nmから700nmの発光が得られる。

30

【0139】

なお、上記に本実施の形態およびその変形例を説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。例えば、前述の各実施の形態またはその変形例に対して、当業者が適宜、構成要素の追加、削除、設計変更を行ったものもや、各実施の形態の特徴を適宜組み合わせたものも、本発明の要旨を備えている限り、本発明の範囲に含有される。

【0140】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

40

【符号の説明】

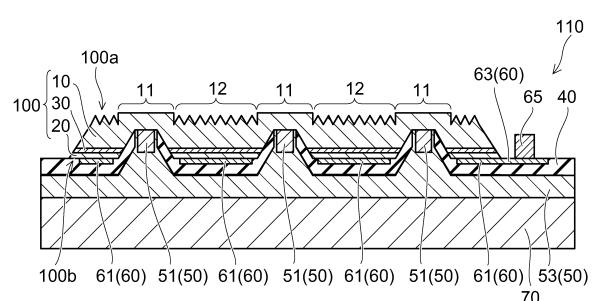
【0141】

10...第1半導体層、11...第1部分、12...第2部分、12p...凹凸部、20...第2半導体層、30...発光層、40...絶縁層、45...誘電体、50...第1電極、50c...接触面、51...接触部、53...接合用金属部、55...パッド、60...第2電極、61...反射部、63...引き出し部、65...パッド、67...接合用金属部、69...接触部、70...支持基板、72...容器、73...反射膜、74...サブマウント、75...電極、76...ボンディングワイヤ、77...蓋部、80...成長用基板、81, 82...蛍光体層、100...積層構造体、

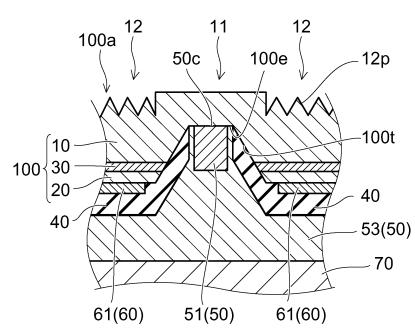
50

100a...第1主面、100b...第2主面、100t...凹部、110, 120, 121,
130, 131, 140, 190...半導体発光素子

【図1】

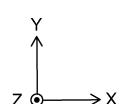
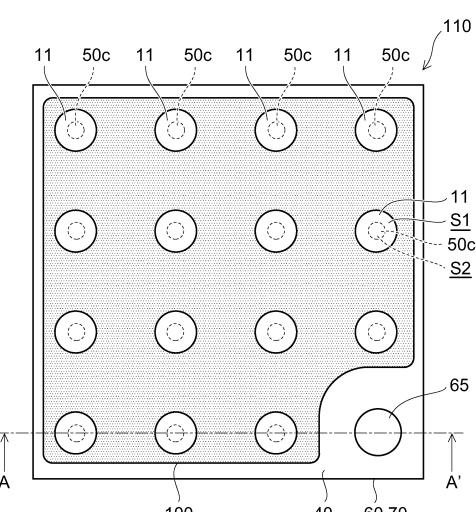


(a)

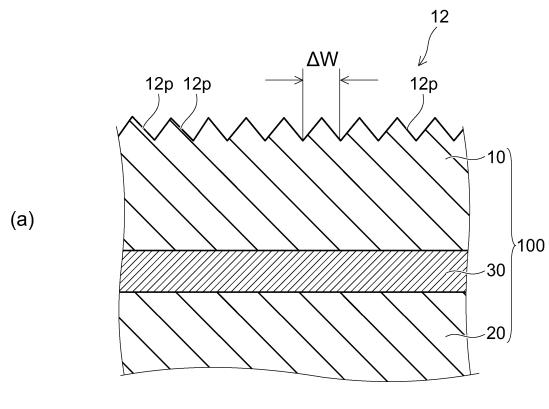


(b)

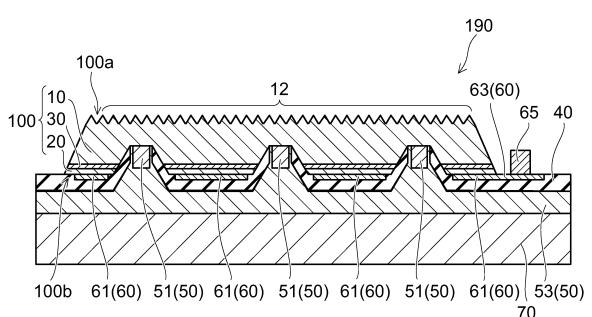
【図2】



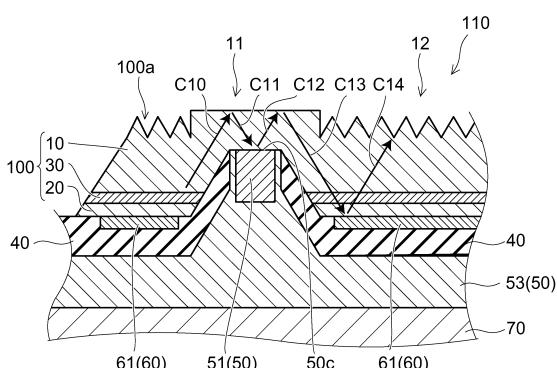
【図3】



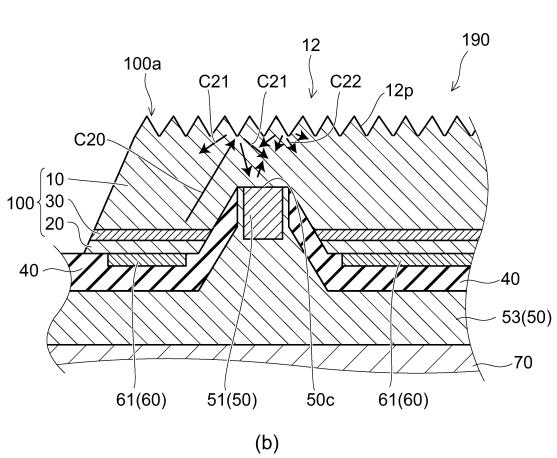
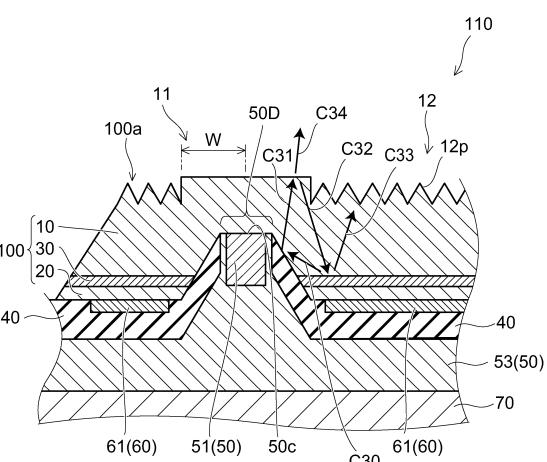
【図4】



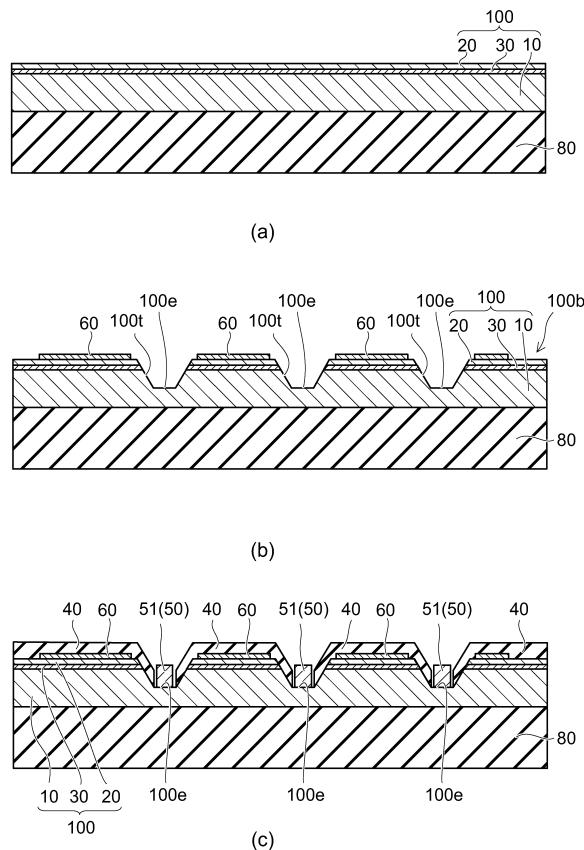
【図5】



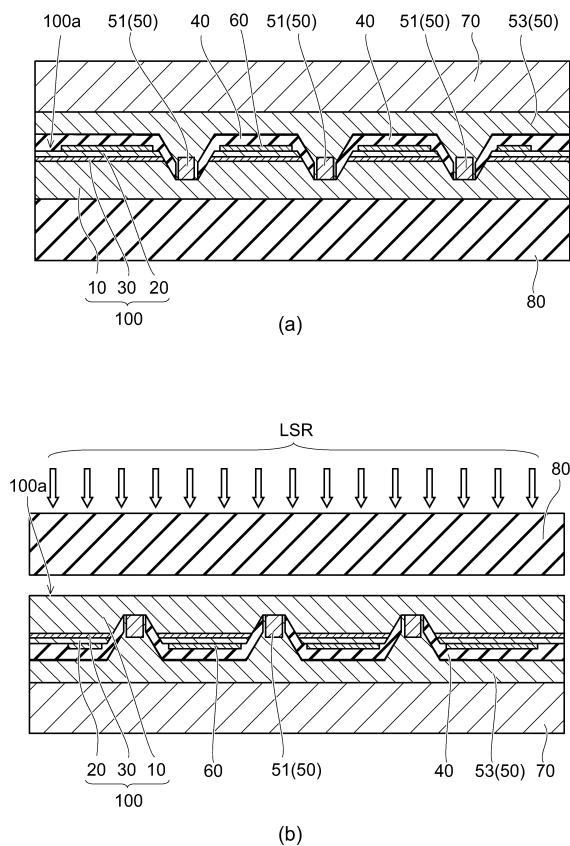
【図6】



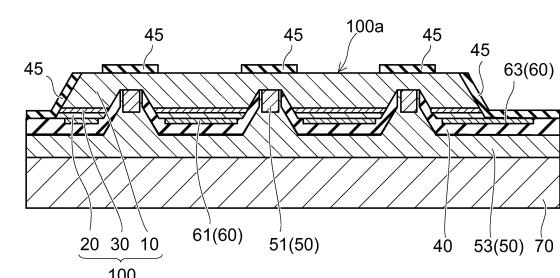
【図7】



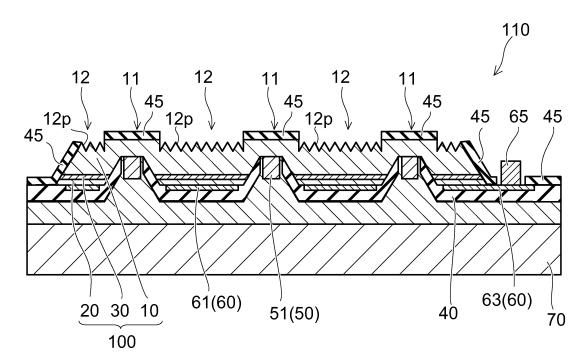
【図8】



【図9】

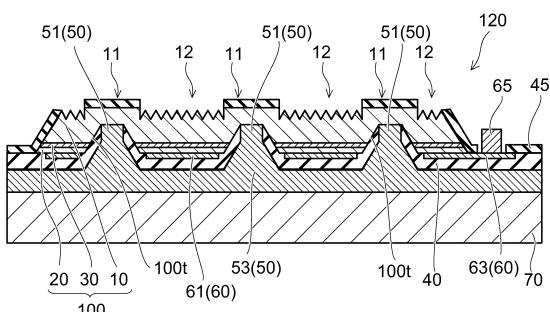


(a)

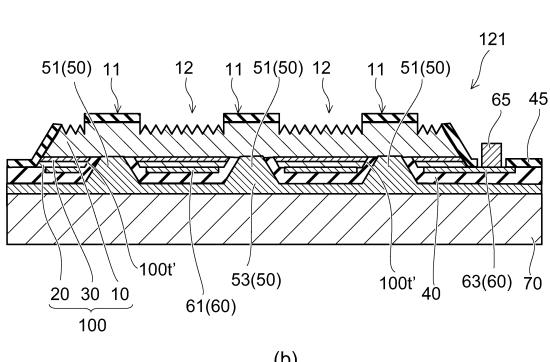


(b)

【図10】

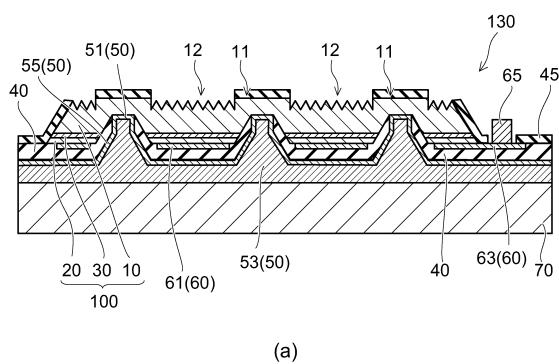


(a)

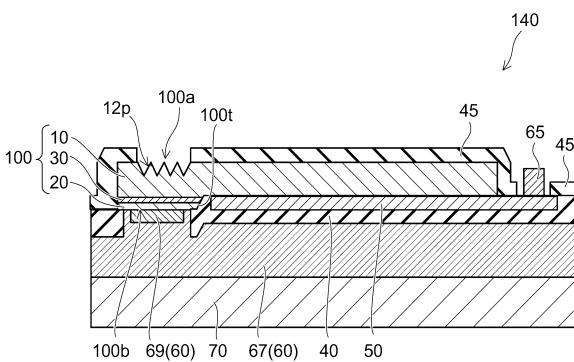


(b)

【図11】

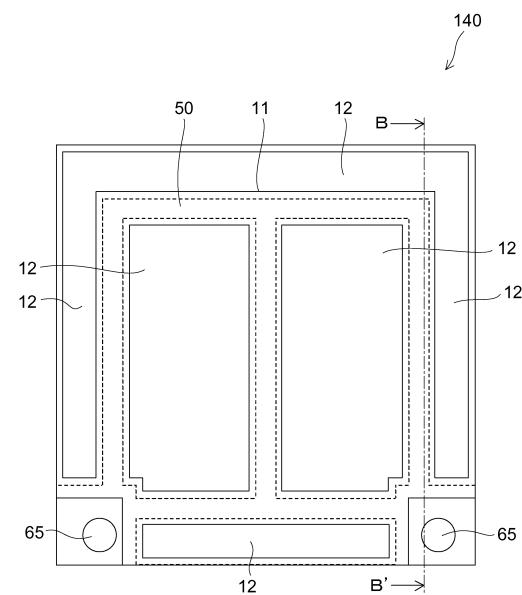


【図12】

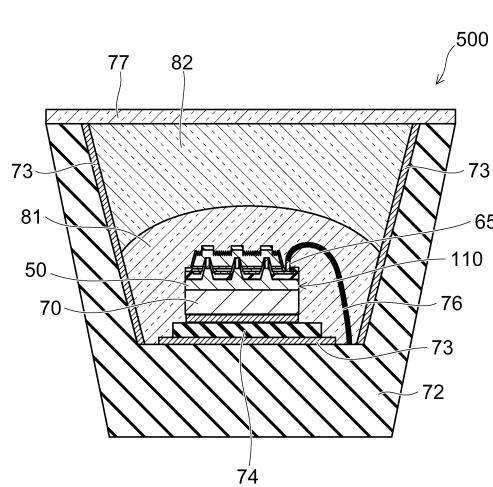


(b)

【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 真嗣
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 櫛部 光弘
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 金子 桂
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 佐藤 俊彦

(56)参考文献 国際公開第2009/155897 (WO, A1)
国際公開第2009/121319 (WO, A1)
特開2003-224297 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64