(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6010169号
(P6010169)
(45)発行日　平成28年10月19日(2016.10.19)　(24)登録日　平成28年9月23日(2016.9.23)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 33/62 (2010.01)　H01L 33/62
H01L 33/32 (2010.01)　H01L 33/32

請求項の数 12　(全 25 頁)

(21)出願番号　特願2015-72412(P2015-72412)
(22)出願日　平成27年3月31日(2015.3.31)
(62)分割の表示　特願2014-76811(P2014-76811)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2015-156498(P2015-156498A)
(43)公開日　平成27年8月27日(2015.8.27)
審査請求日　平成27年3月31日(2015.3.31)

(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　聡
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】
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、
を備え、
前記第１電極は、前記絶縁層と前記金属部との間に設けられた領域と、前記第１半導体層と前記金属部との間に設けられた領域と、を含み、
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、を有し、
前記平坦部分は、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に前記接触部と重なり、
前記積層方向に見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し、
前記平坦部分の外形の面積は、前記接触面の外形の面積よりも大きく、
前記平坦部分は、前記発光光を幾何光学に従って反射する、半導体発光素子。
【請求項２】
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、
前記絶縁層と前記金属部との間に設けられた領域と前記第１電極と前記金属部との間に設けられた領域とを含む金属層と、
を備え、
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、を有し、
前記平坦部分は、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に前記接触部と重なり、
前記積層方向に見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し、
前記平坦部分の外形の面積は、前記接触面の外形の面積よりも大きく、
前記平坦部分は、前記発光光を幾何光学に従って反射する、半導体発光素子。
【請求項３】
前記第２電極の前記第２半導体層と接する部分は、反射性である請求項１または２記載の半導体発光素子。
【請求項４】
前記金属部は、ＡｕＳｎ合金を含む請求項１～３のいずれか１つに記載の半導体発光素子。
【請求項５】
前記支持基板は、Ｇｅ基板である請求項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請求項１～６のいずれか１つに記載の半導体発光素子。
【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請求項１～７のいずれか１つに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請求項１～８のいずれか1つに記載の半導体発光素子。
【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請求項１～１１のいずれか１つに記載の半導体発光素子。
【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】
【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、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、を備えた半導体発光素子が提供される。前記第１電極は、前記絶縁層と前記金属部との間に設けられた領域と、前記第１半導体層と前記金属部との間に設けられた領域と、を含む。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。前記平坦部分は、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に前記接触部と重なる。前記積層方向に見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。前記平坦部分の外形の面積は、前記接触面の外形の面積よりも大きい。前記平坦部分は、前記発光光を幾何光学に従って反射する。

実施形態によれば、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、前記絶縁層と前記金属部との間に設けられた領域と前記第１電極と前記金属部との間に設けられた領域とを含む金属層と、を備えた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。前記平坦部分は、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に前記接触部と重なる。前記積層方向に見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。前記平坦部分の外形の面積は、前記接触面の外形の面積よりも大きい。前記平坦部分は、前記発光光を幾何光学に従って反射する。

【図面の簡単な説明】

【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。

【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、のあいだでの発光光の反射の繰り返しを抑制することができる。

【００１８】

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、$B_xIn_yAl_zGa_{1-x-y-z}N$（$0 \leqq x \leqq 1$，$0 \leqq y \leqq 1$，$0 \leqq z \leqq 1$，$x+y+z \leqq 1$）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。

【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。

【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８００ｎｍの厚さで形成される。

【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２００ｎｍ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。

【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SiO_2が用いられる。絶縁層４０の厚さは、例えば８００ｎｍである。

【００２８】

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ＡｕＳｕ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。

【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ΔＷ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。

【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ΔＷは、六角形の対角する頂点間の幅となる。

【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１５５ｎｍである場合、凹凸部１２ｐの最大幅ΔＷが１５５ｎｍ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ΔＷ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。

【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主面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主面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主面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主面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主面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主面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。

【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。

【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】

特に、凹部１００ｔの第１主面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主面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。

【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】

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$3\times10^{18}cm^{-3}$以上、$5\times10^{20}cm^{-3}$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$1\times10^{16}cm^{-3}$以上$3\times10^{18}cm^{-3}$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$1\times10^{18}cm^{-3}$以上$5\times10^{19}cm^{-3}$以下で、厚さが６μｍ）、及びＳｉドープｎ形$Al_{0.10}Ga_{0.90}N$クラッド層（例えば、Ｓｉ濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$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、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に含めても

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$Al_{0.11}Ga_{0.89}N$バリア層がさらに積層される。Ｓｉドープｎ形$Al_{0.11}Ga_{0.89}N$バリア層においては、例えばＳｉ濃度が$1.1\times10^{19}cm^{-3}$以上$1.5\times10^{19}cm^{-3}$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$1.1\times10^{19}cm^{-3}$以上$1.5\times10^{19}cm^{-3}$以下で、例えば厚さが０．０１μｍとされる。このような多重量子井戸構造の厚さは、例えば０．０７５μｍ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$0.8\times10^{19}cm^{-3}$以上$1.0\times10^{19}cm^{-3}$以下で、例えば、厚さがを０．０１μｍ）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３７０ｎｍ以上、４８０ｎｍ以下、または３７０ｎｍ以上、４００ｎｍ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０．０２μｍ）、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$1\times10^{19}cm^{-3}$で、例えば、厚さが０．０２μｍ）、Ｍｇドープｐ形ＧａＮコンタクト層（例えば、Ｍｇ濃度が$1\times10^{19}cm^{-3}$で、厚さが０．４μｍ）、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$5\times10^{19}cm^{-3}$で、例えば、厚さが０．０２μｍ）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$1\times10^{20}cm^{-3}$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$1\times10^{19}cm^{-3}$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１ＡｌＮ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２ＡｌＮ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２ＡｌＮバッファ層の膜厚を、１μｍ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、４μｍ以下にすることが望ましい。高純度第２ＡｌＮバッファ層は、ＡｌＮに限定されず、$Al_xGa_{1-x}N$(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２ＡｌＮ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２μｍ以上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形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（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主面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主面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SiO_2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。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主面１００ｂの側に接合する。
【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YVO_4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。
【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】
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。
【００８１】
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、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チングで除去し、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SiO_2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】
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チングにより加

工して、凹凸部１２ｐを形成する。エッチング条件としては、例えば１モル（ｍｏｌ）／リットル（Ｌ）のＫＯＨ溶液を８０℃に加熱して、２０分間のエッチングを行う。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。

【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チングでもよいし、ドライエッチングでもよい。ＫＯＨ溶液などによるアルカリエッチングでは、ＧａＮ結晶の面方位（主に｛１０－１－１｝）に沿って異方性エッチングされ、その結果として六角錐の構造が形成される。また、エッチング温度、エッチング時間、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、エッチングレート、六角錐の大きさ及び密度が大きく変化する。

【００８５】

一般的に、エッチング量（エッチング前の表面から、エッチ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をドライエッチ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、異方性エッチングされやすい。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、ドライエッチングによる異方性エッチ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チングにより凹凸部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。

【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。

【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。

【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、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Ａｌ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。

【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。

【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。

【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。

【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】

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。

【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／Ａｌ／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SiO_2を８００ｎｍの膜厚で形成する。

【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。

【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YVO_4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。

【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SiO_2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。

【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チングにより加工して、凹凸部１２ｐを形成する。エッチング条件としては、例えば１ｍｏｌ／ＬのＫＯＨ溶液を８０℃に加熱して、２０分間のエッチングを行う。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。
【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。

【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。

【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】

赤色蛍光体の母材としては、Y_2O_3、YVO_4の他に、ＬａＯＳ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。

【０１３３】

青色蛍光体としては、例えば$(Sr,Ca)_{10}(PO_4)_6Cl_2:Eu^{2+}$や$BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$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、$Sr_4Al_{14}O_{25}:Eu^{2+}$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。

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。

【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。

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。

【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】

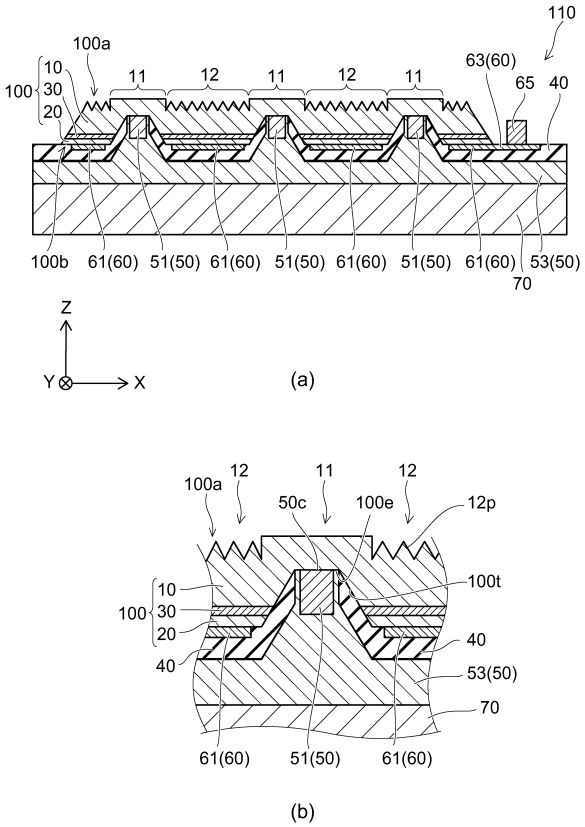
本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】

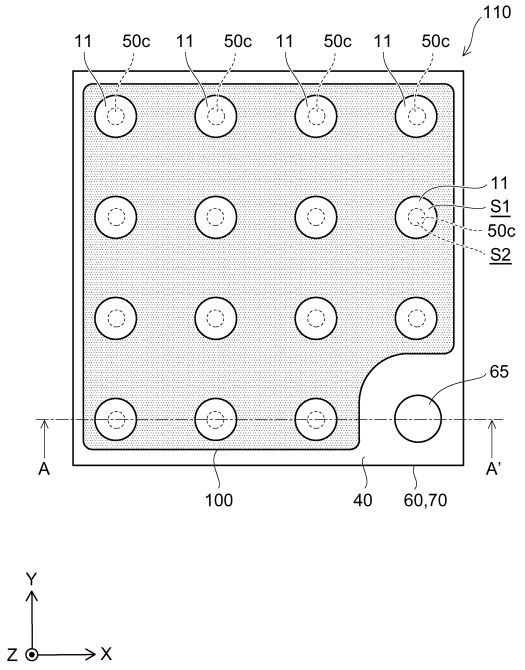
【０１４１】

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、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

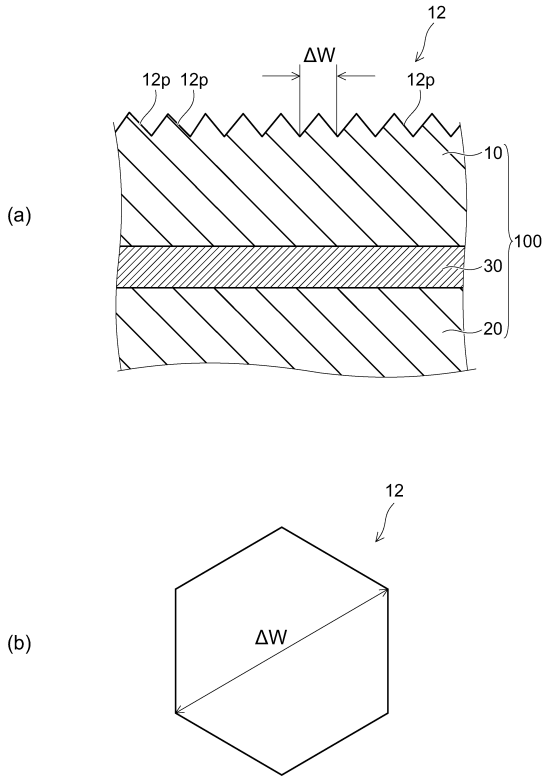
【図１】


110
100a
10
30
20
100
11
12
11
12
11
63(60)
65
40
100b
61(60)
51(50)
61(60)
51(50)
61(60)
51(50)
61(60)
53(50)
70
Z
Y
X
(a)
100a
12
11
12
50c
100e
12p
100t
10
100
30
20
40
40
53(50)
70
61(60)
51(50)
61(60)
(b)

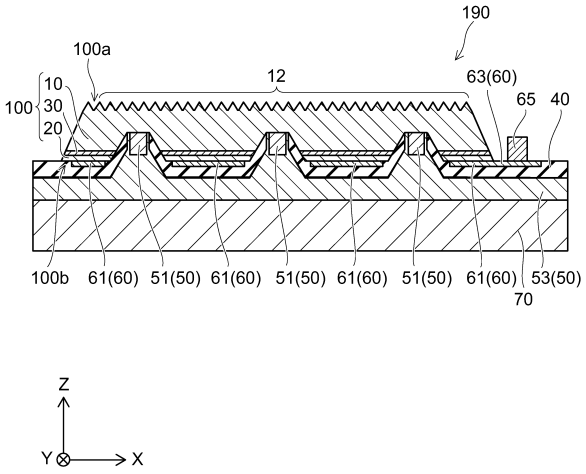
【図２】


110
11
50c
11
50c
11
50c
11
50c
11
S1
50c
S2
65
A
A'
100
40
60,70
Y
Z
X

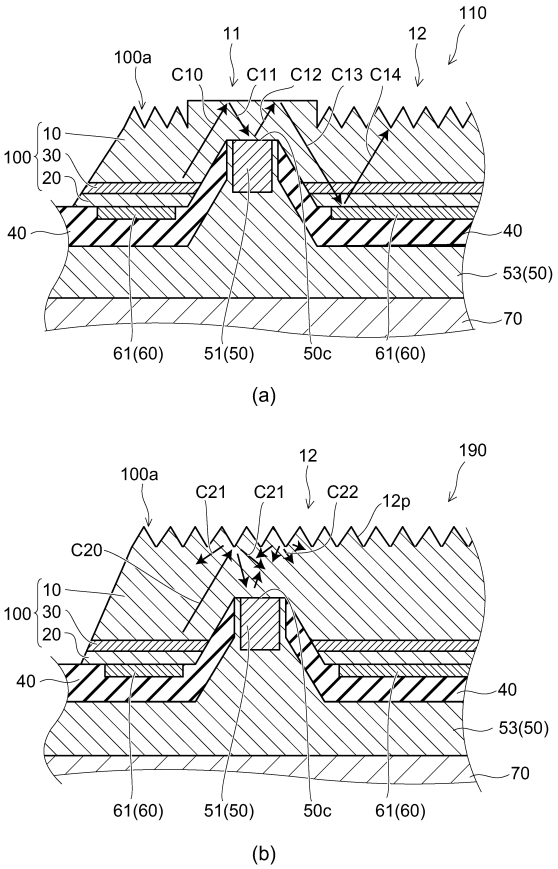
【図３】


(a)
12
ΔW
12p
12p
12p
10
100
30
20
(b)
12
ΔW

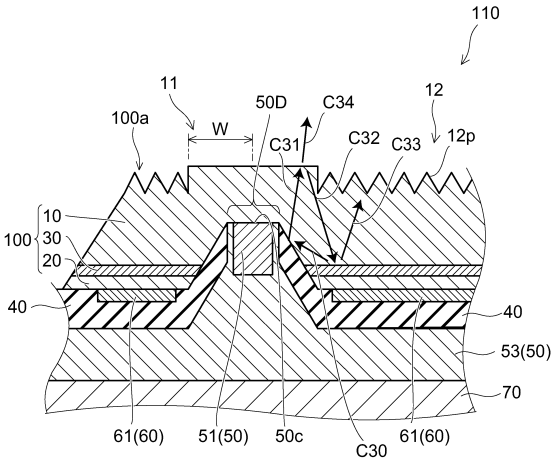
【図４】


190
100a
12
63(60)
10
100
30
20
65
40
100b
61(60)
51(50)
61(60)
51(50)
61(60)
51(50)
61(60)
53(50)
70
Z
Y
X

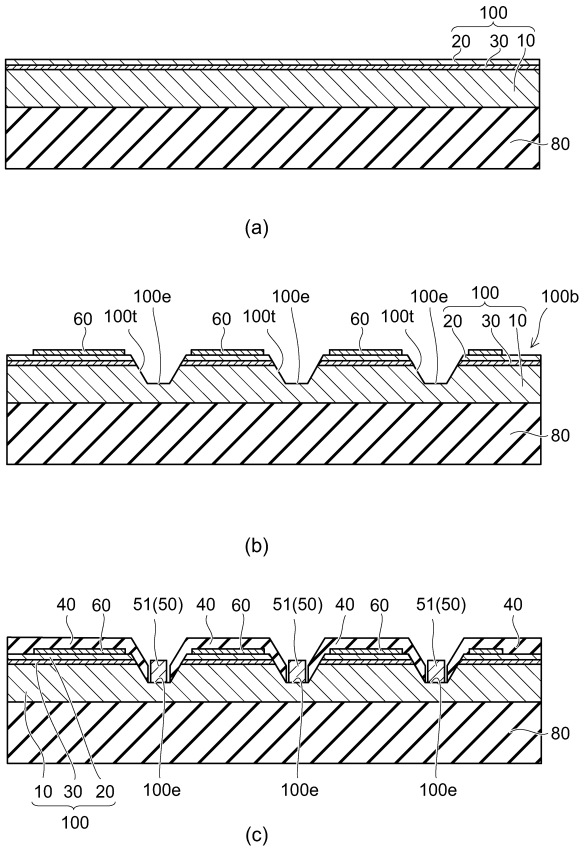
【図５】


110
11
12
100a
C10
C11
C12
C13
C14
10
100
30
20
40
40
53(50)
70
61(60)
51(50)
50c
61(60)
(a)
12
190
100a
C21
C21
C22
12p
C20
10
100
30
20
40
40
53(50)
70
61(60)
51(50)
50c
61(60)
(b)

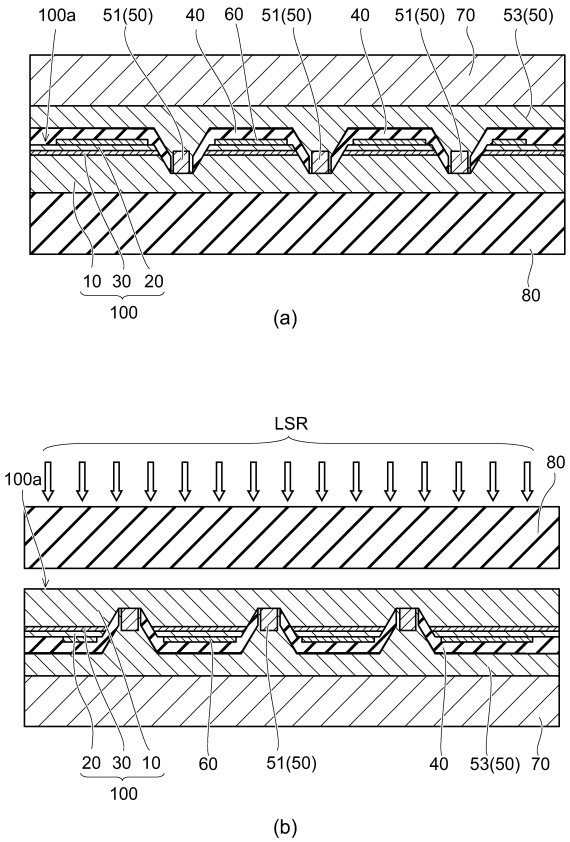
【図６】


110
11
50D
C34
12
100a
W
C31
C32
C33
12p
10
100
30
20
40
40
53(50)
70
61(60)
51(50)
50c
C30
61(60)

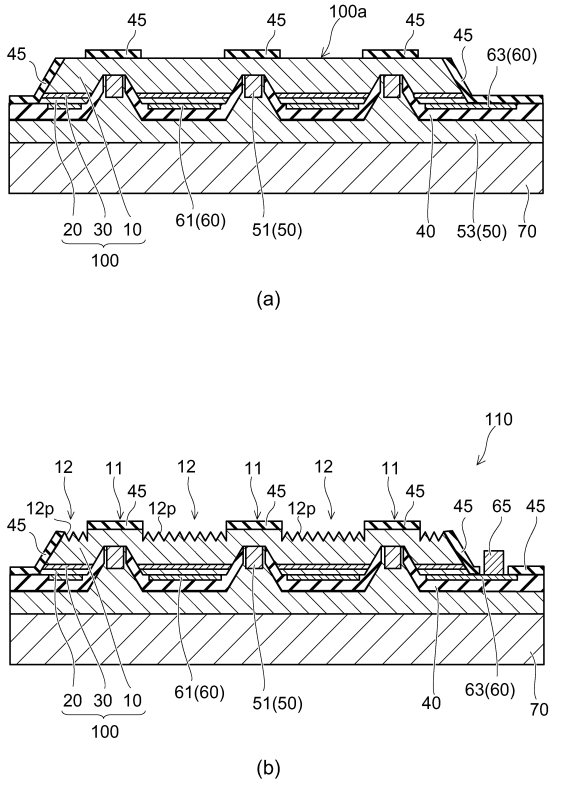
【図７】


100
20
30
10
80
(a)
100e
100e
100e
100
100b
60
100t
60
100t
60
100t
20
30
10
80
(b)
40
60
51(50)
40
60
51(50)
40
60
51(50)
40
80
10
30
20
100
100e
100e
100e
100
(c)

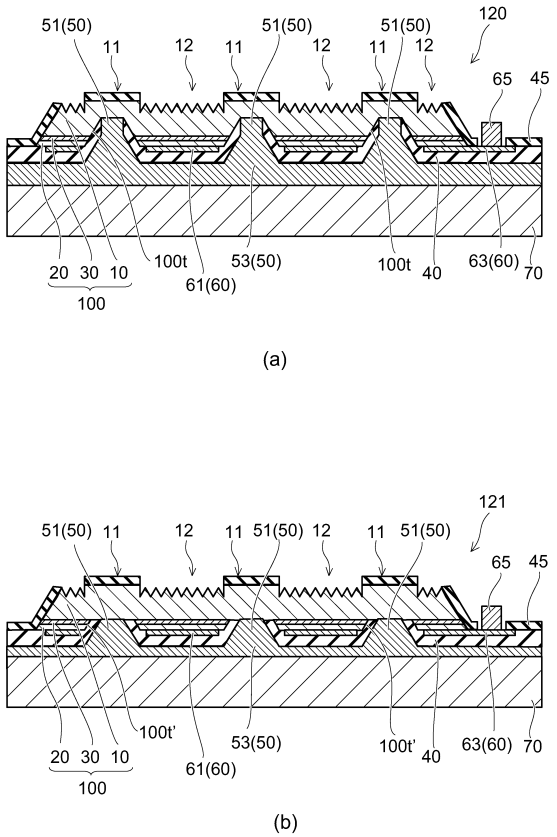
【図８】


100a
51(50)
40
60
51(50)
40
51(50)
70
53(50)
10
30
20
100
80
(a)
LSR
100a
80
20
30
10
100
60
51(50)
40
53(50)
70
(b)

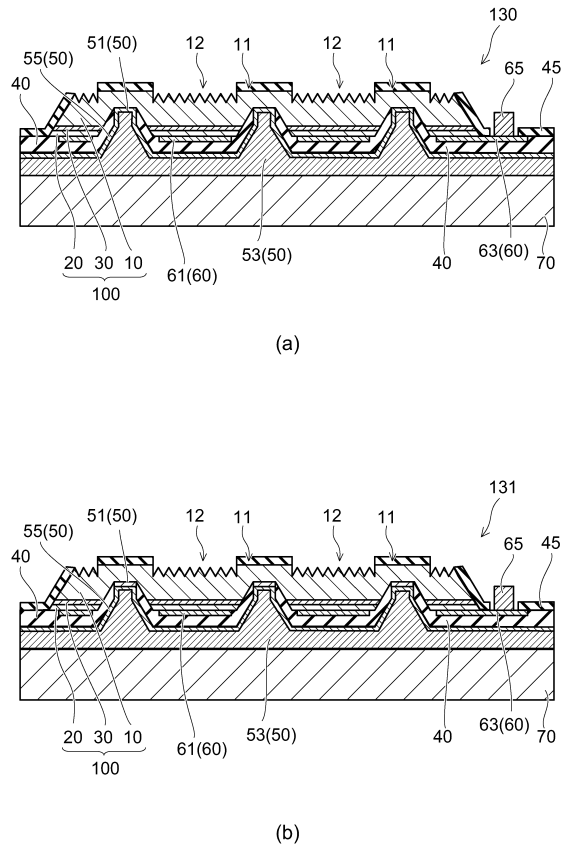
【図９】



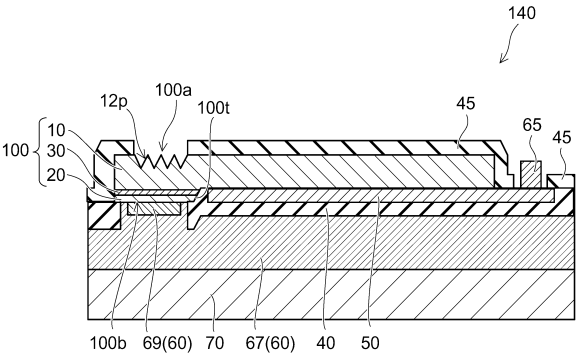
【図１０】



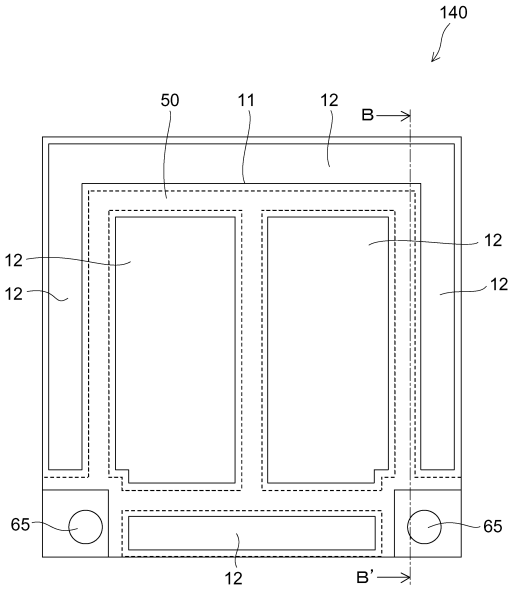
【図１１】



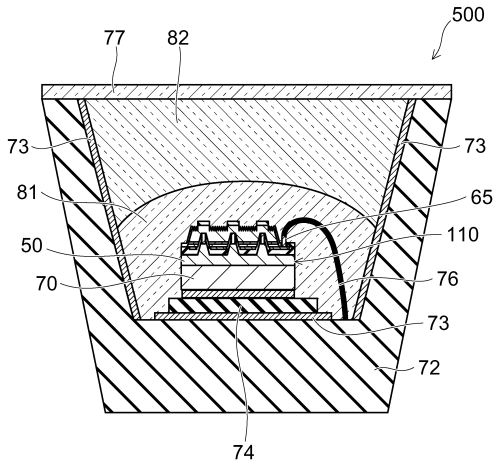
【図１２】



【図１３】


140
50
11
12
B
12
12
12
12
65
65
12
B'

【図１４】


500
77
82
73
73
81
65
110
50
70
76
73
72
74

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２００９／１２１３１９（WO，Ａ１）
特開２００９－１０５３７６（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－２３１３５６（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１０／０２２４８５４（ＵＳ，Ａ１）
特表２０１１－５０８４１４（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－１９８８７６（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０２９６１２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　３３／００－３３／６４