

明 細 書

発明の名称：発光ダイオード及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、発光ダイオード及びその製造方法に関するものである。

本願は、2011年12月19日に日本に出願された特願2011-277536号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 発光層で発生した光を素子上面の一部から取り出す点光源型の発光ダイオードが知られている。この型の発光ダイオードにおいて、発光層における通電領域をその面内の一部に制限するための電流狭窄構造を有するものが知られている（例えば、特許文献1）。電流狭窄構造を有する発光ダイオードでは、発光領域が限定される。その領域の真上に設けられた光射出孔から光を射出させるため、高い光出力が得られると共に射出させた光を光学部品等に効率良く取り込むことが可能である。

[0003] 点光源型の発光ダイオードにおいて、基板に平行な方向において発光領域を狭くするために活性層等をピラー構造とし、そのピラー構造の頂面の光取り出し面に光射出用の開口（光射出孔）を有する層を備えた構成が知られている（例えば、特許文献2）。

図15は、基板131上に、下部ミラー層132と、活性層133と、上部ミラー層134と、コンタクト層135とを順に備えた発光ダイオードであって、活性層133と、上部ミラー層134と、コンタクト層135とをピラー構造137とし、ピラー構造137及びその周囲を保護膜138で被覆し、その保護膜138上に電極膜139を形成し、ピラー構造137の頂面137a（光取り出し面）において電極膜139に光出射用の開口139aを形成した共振器型発光ダイオードを示す。符号140は裏面電極である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2003-31842号公報

特許文献2：特開平9-283862号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記ピラー構造を形成する際、活性層等を成膜した後の、ピラー構造以外の部分の除去を異方性のドライエッチングによって実施する。そのため、図15に示すように、ピラー構造137の側面137bは基板131に対して垂直あるいは急傾斜に形成されてしまう。このピラー構造の側面には通常、蒸着法やスパッタ法によって保護膜が形成された後、蒸着法によって電極用金属（例えば、Au）膜を形成する。しかし、この垂直あるいは急傾斜の側面に、保護膜や電極用金属膜を一様な膜厚で形成するのは容易ではなく、不連続な膜になりやすいという問題がある。保護膜が不連続な膜になった場合（図15中の符号A）には、その不連続部分に電極用金属膜が入り込んで活性層等に接触し、リークの原因になる。また、電極用金属膜が不連続な膜になった場合（図15中の符号B）には、通電不良の原因になる。

[0006] また、ピラー構造以外の部分の除去をドライエッチングで行うと、高価な装置が必要となり、エッチング時間も長くなるという問題もある。

[0007] さらに、図15に示したようなピラー構造の頂面に光射出孔を有する点光源型の発光ダイオードでは、ピラー構造内の発光層全体に電流が流れる。そのため、発光層のうち光射出孔の直下以外の部分で発光する光の量が多く、光射出孔の直下以外の部分で発光した光は光射出孔の直下で発光した光に比べて発光ダイオードの外部に射出する確率が低い。そのために、光取り出し効率の向上が阻まれていた。

[0008] 本発明は、上記事情を鑑みてなされたものであり、保護膜及びその上に形成された電極膜が均一な膜厚で形成されていると共に光取り出し効率が高い発光ダイオード、及び、リークや通電不良が低減して歩留まりが向上すると共に従来より低コストで製造可能な発光ダイオードの製造方法を提供するこ

とを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、以下の手段を提供する。

(1) 支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードであって、その上部に平坦部と、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とを備え、前記平坦部及び前記メサ型構造部はそれぞれ、少なくとも一部は保護膜、電極膜によって順に覆われてなり、前記メサ型構造部は少なくとも前記活性層の一部を含むものであって、前記傾斜側面はウェットエッチングによって形成されてなると共に前記頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなり、前記保護膜は、前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有し、前記電極膜は、前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜であり、前記透明膜は、前記反射層と前記化合物半導体層との間に形成され、前記透明膜内であって平面視して前記光射出孔に重なる範囲内に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように、貫通電極が貫設されている、ことを特徴とする発光ダイオード。

(2) 支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に取り出す発光ダイオードであって、その上部に平坦部と、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とを備え、前記平坦部及び前記メサ型構造部はそれぞれ、少なくとも一部は保護膜、電極膜によって順に覆われてなり、前記メサ型構造部は少なくとも前記活性層の一部を含むものであって、前記傾斜側面はウェットエッチングによって形成されてなると共に前記頂面に向かって水平

方向の断面積が連続的に小さく形成されてなり、前記保護膜は、前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有し、前記電極膜は、前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜であり、前記透明膜は、前記反射層と前記化合物半導体層との間に形成され、前記透明膜内であって平面視して前記通電窓に重なる位置に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように、貫通電極が貫設されている、ことを特徴とする発光ダイオード。

(3) 前記貫通電極が、前記通電窓の外周と前記光射出孔を前記活性層に投影させた図形の外周とを最短距離で各点を結ぶ線分をそのまま延長することで前記透明膜上に縮小投影される前記光射出孔の縮小投影図形の範囲内に形成されている、ことを特徴とする(1)に記載の発光ダイオード。

(4) 前記貫通電極が AuBe 、 AuZn のいずれかからなることを特徴とする(1)～(3)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(5) 前記透明膜が SiO_2 、 SiN 、 SiON 、 Al_2O_3 、 MgF_2 、 TiO_2 、 TiN 、 ZnO 、のいずれかからなることを特徴とする(1)～(4)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(6) 前記コンタクト層は前記電極膜に接触することを特徴とする(1)～(5)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(7) 前記メサ型構造部は平面視して矩形であることを特徴とする(1)～(6)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(8) 前記メサ型構造部の各傾斜側面は前記基板のオリエントエネンションに対してオフセットして形成されていることを特徴とする(7)に記載の発光ダイオード。

(9) 前記メサ型構造部の高さが $3 \sim 7 \mu\text{m}$ であって、平面視した前記傾斜

側面の幅が $0.5 \sim 7 \mu\text{m}$ であることを特徴とする(1)～(8)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(10) 前記光射出孔は平面視して円形又は楕円であることを特徴とする(1)～(9)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(11) 前記光射出孔の径が $50 \sim 150 \mu\text{m}$ であることを特徴とする(10)に記載の発光ダイオード。

(12) 前記電極膜の前記平坦部上の部分にボンディングワイヤを有することを特徴とする(1)～(11)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(13) 前記活性層に含まれる発光層が多重量子井戸からなることを特徴とする(1)～(12)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(14) 前記活性層に含まれる発光層が $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$)、 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})\text{As}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$)、 $(\text{In}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})\text{As}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$)のいずれかからなることを特徴とする(1)～(13)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(15) 支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードの製造方法であって、成長用基板上に、コンタクト層及び活性層を順に含む化合物半導体層を形成する工程と、前記化合物半導体層上に、透明膜と、該透明膜内であって平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように貫設された貫通電極とを形成する工程と、前記透明膜及び前記貫通電極上に金属からなる反射層を形成する工程と、前記反射層上に支持基板を接合する工程と、前記成長用基板を除去する工程と、前記化合物半導体層をウェットエッチングして、頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなるメサ型構造部と該メサ型構造部の周囲に配置する平坦部とを形成する工程と、前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置し

て、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有するように、保護膜を形成する工程と、前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜である電極膜を形成する工程と、を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。

(16) 支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードの製造方法であって、成長用基板上に、コンタクト層及び活性層を順に含む化合物半導体層を形成する工程と、前記化合物半導体層上に、透明膜と、該透明膜内であって平面視して形成予定の通電窓に重なる位置に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように貫設された貫通電極とを形成する工程と、前記透明膜及び前記貫通電極上に金属からなる反射層を形成する工程と、前記反射層上に支持基板を接合する工程と、前記成長用基板を除去する工程と、前記化合物半導体層をウェットエッチングして、頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなるメサ型構造部と該メサ型構造部の周囲に配置する平坦部とを形成する工程と、前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する前記通電窓を有するように、保護膜を形成する工程と、前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜である電極膜を形成する工程と、を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。

(17) 前記ウェットエッチングを、リン酸／過酸化水素水混合液、アンモニア／過酸化水素水混合液、ブロムメタノール混合液、ヨウ化カリウム／ア

ンモニアの群から選択される少なくとも1種以上を用いて行うことを特徴とする（15）又は（16）のいずれかに記載の発光ダイオードの製造方法。

発明の効果

[0010] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出すると共に、保護膜がメサ型構造部の頂面の周縁領域の内側であってかつ光射出孔の周囲に配置して、化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有し、電極膜が通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触し、また、透明膜内であって平面視して光射出孔に重なる範囲内に、化合物半導体層及び反射層に接触するように、貫通電極が貫設されている構成を採用した。その結果、電極膜のうち通電窓を埋めた部分と貫通電極との間に電流が集中することにより、活性層のうち光射出孔の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多くなる。その結果、光射出孔に向かう光の割合が高くなり、光取り出し効率の向上が図られている。

本発明の一態様に係る発光ダイオードによれば、その上部に平坦部と、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とを有する構成を採用した。その結果、高い光出力が得られると共に射出させた光を光学部品等に効率良く取り込むことが可能である。

本発明の発光ダイオードは、メサ型構造部の傾斜側面はウェットエッチングによって形成されてなると共に頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなる構成を採用した。その結果、垂直側面の場合に比べて側面に保護膜及びその上の電極膜を形成しやすいために均一な膜厚で連続な膜が形成される。そのため、不連続な膜に起因したリークや通電不良がなく、安定で高輝度の発光が担保されている。かかる効果は、ウェットエッチングによって形成されてなる傾斜側面を有するメサ型構造部を備えていれば奏する効果であり、発光ダイオードの内部の積層構造や基板の構成によらずに得られる効果である。

- [0011] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出すると共に、透明膜内であって平面視して通電窓に重なる位置に、化合物半導体層及び反射層に接触するように、貫通電極が貫設されている構成を採用した。その結果、電極膜のうち通電窓を埋めた部分と貫通電極との間に電流が集中する。それにより、活性層のうち通電窓の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多くなる。その結果、光射出孔に向かう光の割合が高くなり、光取り出し効率の向上が図られている。
- [0012] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、貫通電極が、通電窓の外周と光射出孔を活性層に投影させた図形の外周とを最短距離で各点間を結ぶ線分をそのまま延長することで透明膜上に縮小投影される光射出孔の縮小投影図形の範囲内に形成されている構成を採用した。その結果、活性層のうち光射出孔に重なる範囲よりも狭い範囲の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多くなる。その結果、光射出孔に向かう光の割合がさらに高くなり、光取り出し効率のさらなる向上が図られている。
- [0013] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、貫通電極が AuBe 、 AuZn のいずれかからなる構成を採用した。その結果、化合物半導体層及び反射層との接触抵抗が低く、低電圧駆動が可能となる。
- [0014] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、透明膜が SiO_2 、 SiN 、 SiON 、 Al_2O_3 、 MgF_2 、 TiO_2 、 TiN 、 ZnO のいずれかからなる構成を採用した。その結果、反射層から反射させる光の高い透過性を確保して高出力が図られている。
- [0015] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、コンタクト層が電極膜に接触する構成を採用した。その結果、オーミック電極の接触抵抗を下げて低電圧駆動が可能となる。
- [0016] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、メサ型構造部を平面視して矩形

である構成を採用した。その結果、製造時のウエットエッチングにおける異方性の影響によりエッチング深さによりメサ形状が変化することが抑制される。そのため、メサ部面積の制御が容易なので、高精度の寸法形状が得られる。そのために、メサ部面積の制御が容易なので、高精度の寸法形状が得られる。

ている。

[0017] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、メサ型構造部の各傾斜側面が基板のオリエンテーションラットに対してオフセットして形成されている構成を採用した。その結果、矩形メサ型構造部を構成する4辺に対し基板方位による異方性の影響が緩和され、均等なメサ形状・勾配が得られている。

[0018] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、メサ型構造部の高さが $3 \sim 7 \mu\text{m}$ であって、平面視した傾斜側面の幅が $0.5 \sim 7 \mu\text{m}$ である構成を採用した。その結果、垂直側面の場合に比べて側面に保護膜及びその上の電極膜を形成しやすいために均一な膜厚で連続な膜が形成される。そのため、不連続な膜に起因したリークや通電不良がなく、安定で高輝度の発光が担保されている。

[0019] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、光射出孔が平面視して円形又は楕円である構成を採用した。その結果、矩形等の角を持つ構造に比べ均一なコンタクト領域を形成しやすく、角部での電流集中等の発生を抑制できる。また、受光側でのフライバー等への結合に適している。

[0020] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、光射出孔の径が $50 \sim 150 \mu\text{m}$ である構成を採用した。その結果、 $50 \mu\text{m}$ 未満ではメサ型構造部での電流密度が高くなり、低電流で出力が飽和してしまう。その一方、 $150 \mu\text{m}$ を超えるとメサ型構造部全体への電流拡散が困難であるため、やはり出力は飽和するという問題が回避されている。

[0021] 本発明の一態様に係る発光ダイオードは、電極膜の平坦部上の部分にボンディングワイヤを有する構成を採用した。その結果、十分な荷重（及び超音波）をかけられる平坦部にワイヤボンディングがなされているので、接合強度の強いワイヤボンディングが実現されている。

[0022] 本発明の発光ダイオードは、活性層に含まれる発光層が多重量子井戸から

なる構成を採用した。その結果、井戸層内に十分な注入キャリアが閉じ込められることにより、井戸層内のキャリア密度が高くなる。その結果、発光再結合確率が増大して、応答速度が高い。

[0023] 本発明の一態様に係る発光ダイオードの製造方法は、支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に取り出す発光ダイオードの製造方法であって、成長用基板上に、コンタクト層及び活性層を順に含む化合物半導体層を形成する工程と、化合物半導体層上に、透明膜と、該透明膜内であって平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に、化合物半導体層及び反射層に接触するように貫設された貫通電極とを形成する工程とを有する構成を採用した。その結果、電極膜のうち通電窓を埋めた部分と貫通電極との間に電流が集中する。これにより、活性層のうち光射出孔の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多くなる。その結果、光射出孔に向かう光の割合が高くなり、光取り出し効率が向上した発光ダイオードを製造することができる。

本発明の発光ダイオードの製造方法によれば、反射層上に支持基板を接合する工程と、成長用基板を除去する工程とを有する構成を採用した。その結果、化合物半導体層の成長基板として通常用いられるGaAs基板等の成長用基板による光の吸収を回避して、発光出力が向上した発光ダイオードを製造することができる。

本発明の一態様に係る発光ダイオードの製造方法は、化合物半導体層をウェットエッチングして、頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなるメサ型構造部と該メサ型構造部の周囲に配置する平坦部とを形成する工程と、メサ型構造部の頂面に、化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有するように、メサ型構造部及び平坦部上に保護膜を形成する工程と、通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、メサ型構造部の頂面上に光射出孔を有するように、連続膜である電極膜を形成する工程と、

を有する構成を採用した。その結果、高い光出力を有すると共に射出させた光を光学部品等に効率良く取り込むことが可能である。さらに、垂直側面の場合に比べて傾斜斜面に保護膜及びその上の電極膜を形成しやすいために均一な膜厚で連続な膜が形成される。そのため、不連続な膜に起因したリークや通電不良がなく、安定で高輝度の発光が担保された発光ダイオードを製造することができる。従来の異方性のドライエッチングによりピラー構造を形成すると側面が垂直に形成されるが、ウェットエッチングによりメサ型構造部を形成することにより、側面を緩やかな傾斜の側面を形成することができる。また、ウェットエッチングによりメサ型構造部を形成することにより、従来のドライエッチングによってピラー構造を形成する場合に比べて形成時間が短縮することができる。

[0024] 本発明の一態様に係る発光ダイオードの製造方法は、支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に取り出す発光ダイオードの製造方法であって、成長用基板上に、コンタクト層及び活性層を順に含む化合物半導体層を形成する工程と、化合物半導体層上に、透明膜と、該透明膜内であって平面視して形成予定の通電窓に重なる位置に、化合物半導体層及び反射層に接触するように貫設された貫通電極とを形成する工程とを有する構成を採用した。その結果、活性層のうち通電窓の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多い。そのため、光射出孔に向かう光の割合が高くなり、光取り出し効率が向上した発光ダイオードを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]本発明の第1の実施形態である発光ダイオードの断面模式図である。

[図2]本発明の第1の実施形態である発光ダイオードの斜視図である。

[図3]本発明の発光ダイオードのメサ型構造部の傾斜斜面の断面を示す電子顕微鏡写真である。

[図4]本発明の第1の実施形態である発光ダイオードの貫通電極及び通電窓近

傍の拡大断面図である。

[図5]本発明の第1の実施形態である発光ダイオードの活性層の断面模式図である。

[図6]本発明の第2の実施形態である発光ダイオードの貫通電極及び通電窓近傍の拡大断面図である。

[図7]本発明の第3の実施形態である発光ダイオードの断面模式図である。

[図8]本発明の支持基板に用いる金属基板の製造工程の一例を示す工程断面図である。

[図9]本発明の第1の実施形態の発光ダイオードの製造方法を説明するための断面模式図である。

[図10A]本発明の第1の実施形態の発光ダイオードの製造方法の一例を示す工程断面図である。

[図10B]本発明の第1の実施形態の変形例の発光ダイオードの製造方法の一例を示す工程断面図である。

[図11]本発明の第1の実施形態の発光ダイオードの製造方法の一例を示す工程断面図である。

[図12]本発明の第1の実施形態の発光ダイオードの製造方法の一例を示す工程断面図である。

[図13]ウェットエッチングのエッチング時間に対する深さ及び幅の関係を示すグラフである。

[図14]本発明の第1の実施形態の発光ダイオードの保護膜の通電窓を説明するための平面図である。

[図15]従来の発光ダイオードの断面図である。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明を適用した発光ダイオード及びその製造方法について、図を用いてその構成を説明する。なお、以下の説明で用いる図面は、特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際と同じであるとは限らない。また、以下

の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。

なお、本発明の効果を損ねない範囲で以下に記載していない層を備えてもよい。

[0027] [発光ダイオード（第１の実施形態）]

図１に、本発明を適用した発光ダイオードの一例の断面模式図である。図２は、図１で示した発光ダイオードを含むウェハ上に形成された発光ダイオードの斜視図である。

以下に、図１及び図２を参照して、本発明を適用した一実施形態の発光ダイオードについて詳細に説明する。

[0028] 図１に示す発光ダイオード１００は、支持基板１上に、金属からなる反射層２と、透明膜３０と、活性層４及びコンタクト層５を順に含む化合物半導体層２０（図４参照）とを順に備え、光射出孔９ｂから光を外部に射出する発光ダイオードである。当該発光ダイオードは、その上部に平坦部６と、傾斜側面７ａ及び頂面７ｂを有するメサ型構造部７とを備える。平坦部６及びメサ型構造部７はそれぞれ、少なくとも一部は保護膜８、電極膜９によって順に覆われてなる。メサ型構造部７は少なくとも活性層４の一部を含むものであって、傾斜側面７ａはウェットエッチングによって形成されてなと共に頂面７ｂに向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなる。保護膜８は、平坦部６の少なくとも一部と、メサ型構造部７の傾斜側面７ａと、メサ型構造部７の頂面７ｂの周縁領域７ｂａとを覆う。保護膜８はまた、平面視して周縁領域７ｂａの内側であってかつ光射出孔９ｂの周囲に配置して、化合物半導体層２０（コンタクト層５）の表面の一部を露出する通電窓８ｂを有する。電極膜９は、通電窓８ｂから露出された化合物半導体層２０（コンタクト層５）の表面に接触する。しかも電極膜９は、平坦部６上に形成された保護膜８の一部を少なくとも覆い、メサ型構造部７の頂面７ｂ上に光射出孔９ｂを有するように形成された連続膜である。透明膜３０は、反射

層 2 と化合物半導体層 20 との間に形成される。透明膜 30 内であって平面視して光射出孔 9b に重なる範囲内に、化合物半導体層 20 及び反射層 2 に接触するように、貫通電極 31 が貫設されている。また、反射層 2 と活性層 4 との間に接合（コンタクト）層 3 が設けられている。

本実施形態の発光ダイオードのメサ型構造部 7 は、平面視して矩形であり、電極膜 9 の光射出孔 9b は平面視して円形である。メサ型構造部 7 の平面視は矩形に限定されず、また、光射出孔 9b の平面視も円形に限定されない。

メサ型構造部 7 の電極膜上に、側面からの光の漏れを防止するための光漏れ防止膜 16 を備えている。

また、基板 1 の下面側には裏面電極 40 を備えている。

[0029] 本発明の発光ダイオードは、図 2 に示すように、ウェハ状の基板上に多数の発光ダイオード 100 を作製した後、各発光ダイオードごとにストリート（切断予定ライン）21（一点鎖線 22 はストリート 21 の長手方向の中心線）に沿って切断することにより製造することができる。すなわち、一点鎖線 22 に沿ってストリート 21 の部分にレーザーやブレード等を当てることにより、各発光ダイオードごとに切断して個片化できる。

[0030] メサ型構造部 7 は、平坦部 6 に対して上方に突出した構造であり、傾斜側面 7a と頂面 7b とを有する。図 1 で示した例の場合、傾斜側面 7a は、活性層 4 の全層及びコンタクト層 5 の傾斜断面からなり、傾斜側面 7a の上に、保護膜 8、電極膜（おもて面電極膜）9、光漏れ防止膜 16 が順に設けられている。また、頂面 7b はコンタクト層 5 の表面からなり、頂面 7b の上に、保護膜 8（符号 8ba 及び符号 8d の部分）と、電極膜 9（符号 9ba、9bb 及び 9d の部分）が設けられている。

[0031] また、本発明のメサ型構造部 7 の内部には、コンタクト層 5 と、活性層 4 の少なくとも一部とが含まれる。

図 1 で示した例の場合、メサ型構造部 7 の内部には、コンタクト層 5 と、活性層 4 の全層とが含まれる。メサ型構造部 7 の内部には、活性層 4 の一部

だけが含まれてもよい。活性層 4 の全層がメサ型構造部 7 の内部に含まれるのが好ましい。活性層 4 で発光した光を全てメサ型構造部内で生ずることになり、光取り出し効率が向上するからである。

[0032] また、メサ型構造部 7 は、その傾斜側面 7 a がウェットエッチングによって形成されてなる。また、メサ型構造部 7 は、支持基板 1 側から頂面 7 b に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなる。傾斜側面 7 a はウェットエッチングによって形成されたものなので、頂面側から支持基板 1 側へ傾斜が緩くなるように形成されてなる。メサ型構造部 7 の高さ h は $3 \sim 7 \mu\text{m}$ であって、平面視した傾斜側面 7 a の幅 w が $0.5 \sim 7 \mu\text{m}$ であることが好ましい。また、高さ h は $5 \sim 7 \mu\text{m}$ であることがより好ましい。また、幅 w が $3 \sim 7 \mu\text{m}$ であることがより好ましく、 $4 \sim 6 \mu\text{m}$ であることがさらに好ましい。メサ型構造部 7 の側面が垂直若しくは急傾斜でなく、緩やかな傾斜であるために、保護膜や電極用金属膜を一様な膜厚で形成するのが容易となり、不連続な膜になるおそれがなく、そのため、不連続な膜に起因したリークや通電不良がなく、安定で高輝度の発光が担保されるからである。

また、高さが $7 \mu\text{m}$ を超えるまでウェットエッチングを行うと、傾斜側面がオーバーハング形状（逆テーパ状）になりやすくなるので好ましくない。オーバーハング形状（逆テーパ状）では保護膜や電極膜を均一な膜厚で不連続箇所なく形成することが垂直側面の場合よりもさらに困難になるからである。

なお、本明細書において、高さ h とは、平坦部 6 上の保護膜を介して形成された電極膜 9（符号 9 c の部分）の表面から、保護膜 8 の符号 8 b a の部分を覆う電極膜 9（符号 9 b a の部分）の表面までの垂直方向の距離（図 1 参照）をいう。また、幅 w とは、保護膜 8 の符号 8 b a の部分を覆う電極膜 9（符号 9 b a の部分）のエッジからそのエッジにつながった傾斜側面の電極膜 9（符号 9 a の部分）の最下のエッジの水平方向の距離（図 1 参照）をいう。

[0033] 図3は、メサ型構造部7近傍の断面の電子顕微鏡写真である。

図3で示した例の層構成は、コンタクト層が $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなり、層厚が $3\mu\text{m}$ である点以外は、後述する実施例と同様な構成である。

[0034] 本発明のメサ型構造部はウェットエッチングによって形成されてなるので、その頂面側から基板側へ行くほど（図で下方に行くほど）、メサ型構造部の水平断面積（又は、幅もしくは径）の増大率が大きくなるように形成されている。この形状によってメサ型構造部がドライエッチングではなく、ウェットエッチングによって形成されたものであることを判別することができる。

図3で示した例では、高さ h は $7\mu\text{m}$ であり、幅 w は $3.5\sim 4.5\mu\text{m}$ であった。

[0035] メサ型構造部7は、平面視して矩形であるのが好ましい。製造時のウェットエッチングにおける異方性の影響でエッチング深さによりメサ形状が変化することが抑制され、メサ型構造部の各面の面積の制御が容易なので、高精度の寸法形状が得られるからである。

[0036] 発光ダイオードにおけるメサ型構造部7の位置は、図1及び図2に示すように、素子の小型化のためには発光ダイオードの長軸方向の一方に片寄っているのが好ましい。平坦部6はボンディングワイヤ（図示せず）を取り付けるのに要する広さが必要であるため、狭くするのには限界がある。メサ型構造部7をもう一方に寄せることにより、平坦部6の範囲を最小化でき、素子の小型化を図ることができるからである。

[0037] 平坦部6は、メサ型構造部7の周囲に配置する部分である。本発明では、十分な荷重及び／又は超音波をかけることが可能な電極膜の平坦部に位置する部分にワイヤボンディングがなされるので、接合強度の強いワイヤボンディングが実現できる。

[0038] 平坦部6には、保護膜8、電極膜（おもて面電極膜）9が順に形成されており、電極膜9の上にはボンディングワイヤ（図示せず）が取り付けられる。平坦部6の保護膜8の直下に配置する材料は、メサ型構造部7の内部の構成

により決まる。

[0039] 保護膜 8 は、メサ型構造部 7 の傾斜側面 7 a を覆う部分 8 a と、平坦部 6 の少なくとも一部を覆う部分 8 c（メサ型構造部 7 を挟んで反対側の平坦部を覆う部分 8 c c も含む）と、メサ型構造部 7 の頂面 7 b の周縁領域 7 b a を覆う部分 8 b a と、前記頂面 7 b の中央部分を覆う部分 8 d とからなる。保護膜 8 は、平面視して周縁領域 7 b a の内側にコンタクト層 5 の表面の一部を露出する通電窓 8 b を有する。

本実施形態の通電窓 8 b は、メサ型構造部 7 の頂面 7 b においてコンタクト層 5 の表面のうち、周縁領域 7 b a の下に位置する部分 8 b a と中央部分を覆う部分 8 d の下に位置する部分との間の径の異なる 2 つの同心円間の領域（環状領域）を露出する。

通電窓 8 b の形状に制限はない。環状でなくてもよく、連続するものでなく離散する複数の領域からなってもよい。

[0040] 保護膜 8 の第 1 の機能は発光が生じる領域及び光を取り出す範囲を狭くするために、おもて面電極膜 9 の下層に配置して、おもて面電極膜 9 のうち、化合物半導体層 20 に接触して化合物半導体層 20 との間の電流の流入もしくは流出を頂面の通電窓 8 b の部分に制限することである。すなわち、保護膜 8 を形成した後、保護膜 8 を含む全面におもて面電極膜を形成し、その後、おもて面電極膜をパターニングするが、保護膜 8 を形成した部分についてはおもて面電極膜を除去しなくても電流が流れることはない。電流を流したいところに保護膜 8 の通電窓 8 b を形成する。

従って、第 1 の機能を持たせるように、メサ型構造部 7 の頂面 7 b の一部に通電窓 8 b を形成する構成であれば、通電窓 8 b の形状や位置は図 1 のような形状や位置に限定されない。

[0041] 第 1 の機能は必須の機能であるのに対して、保護膜 8 の第 2 の機能は必須の機能ではないが。図 1 に示す保護膜 8 の場合、第 2 の機能として、平面視しておもて面電極膜 9 の光射出孔 9 a 内のコンタクト層 5 の表面に配置して、保護膜 8 越しに光を取り出すことができ、かつ、光を取り出すコンタクト

層 5 の表面を保護することである。

なお、後述する第 2 の実施形態では、光射出孔の下に保護膜を有さず、保護膜を介さずに光射出孔 9 b から直接、光を取り出す構成であり、第 2 の機能を有さない。

[0042] 保護膜 8 の材料としては絶縁層として公知のものを用いることができる。安定した絶縁膜の形成が容易であることから、シリコン酸化膜が好ましい。

なお、本実施形態では、この保護膜 8 (8 d) 越しに光を取り出すので、保護膜 8 は透光性を有する必要がある。

[0043] また、保護膜 8 の膜厚は、0.3 ~ 1 μm が好ましく、0.5 ~ 0.8 μm がより好ましい。0.3 μm 未満では絶縁が十分ではないからであり、1 μm を超えると形成するのに時間がかかり過ぎるからである。

ここで、保護膜の膜厚とは、支持構造部の上面やメサ型構造部の頂面等の平坦部分における膜厚のことである。

[0044] 電極膜(おもて面電極膜) 9 は、保護膜 8 のうち傾斜側面 7 a を覆う部分 8 a を覆う部分 9 a と、保護膜 8 のうち平坦部 6 の少なくとも一部を覆う部分 8 c を覆う部分 9 c と、保護膜 8 のうちメサ型構造部 7 の頂面 7 b の周縁領域 7 b a を覆う部分 8 b a の部分を覆う部分 9 b a と、保護膜 8 の通電窓 8 b を埋め込む部分 9 b b (以下適宜、「コンタクト部分」という) と、メサ型構造部 7 の頂面 7 b において保護膜 8 のうち頂面 7 b の中央部分を覆う部分 8 d の外周縁部を覆う部分 9 d とからなる。

[0045] 電極膜(おもて面電極膜) 9 の第 1 の機能は電流を流すための電極としての機能であり、第 2 の機能は発光した光が射出される範囲を制限することである。図 1 で示した例の場合、第 1 の機能はコンタクト部分 9 b b が担い、第 2 の機能は中央部分を覆う部分 8 d の外周縁部を覆う部分 9 d が担っている。

第 2 の機能については非透光性の保護膜を用いることにより、その保護膜に担わせる構成でもよい。

[0046] 電極膜 9 は平坦部 6 の保護膜 8 全体を覆っていてもよいし、その一部を覆っても構わない。ボンディングワイヤを適切に取り付けるためにはできるだ

け広範囲を覆っているのが好ましい。コスト低減の観点から、図2に示すように、各発光ダイオードごとに切断する際のストリート21には電極膜を覆わないのが好ましい。

[0047] この電極膜9はメサ型構造部7の頂面7bにおいてコンタクト部分9bbでしかコンタクト層5に接触していない。そのため、発光ダイオードの内部を流れてきた電流はコンタクト部9bbを介してのみ流れる。

[0048] 電極膜9の材料としては、コンタクト層に対して良好なオーミックコンタクトが得られる公知の電極材料を用いることができる。例えば、n型電極とする場合には、AuGe層とNi層とAu層が順に形成された層構造(AuGe/Ni/Au)を用いることができる。

また、電極膜9の膜厚は、0.5～2.0μmが好ましく、1.2～1.8μmがより好ましい。0.5μm未満では均一かつ良好なオーミックコンタクトを得ることが困難な上、ボンディング時の強度、厚みが不十分だからであり、2.0μmを超えるとコストがかかり過ぎるからである。

ここで、電極膜の膜厚とは、支持構造部の上面やメサ型構造部の頂面等の平坦部分における膜厚のことである。

[0049] 透明膜30は、反射層2と化合物半導体層20との間に形成されている。

透明膜30を構成する材料としては透光性を有し、貫通電極31よりも導電性が低い材料であれば、制限はない。例えば、SiO₂、SiN、SiON、Al₂O₃、MgF₂、TiO₂、TiN、ZnOを用いることができる。

また、透明膜30の膜厚は貫通電極の膜厚で決まる。後述するように、貫通電極31の膜厚は0.05～2μmとすることが好ましいので、透明膜30の膜厚としても0.05～2μmとすることが好ましい。

[0050] 貫通電極31は、透明膜30内であって平面視して光射出孔9bに重なる範囲(R2(図4参照))内に、化合物半導体層20及び反射層2に接触するように貫設されている。貫通電極31がこの範囲内に配置されると、電極膜9のうち通電窓を埋めた部分(コンタクト部分9bb)と貫通電極31との間に電流が集中することになる。それにより、活性層のうち光射出孔9b

に重なる範囲の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多くなる。その結果、光射出孔に向かう光の割合が高くなり、光取り出し効率の向上が図られている。

[0051] また、貫通電極 31 は、通電窓 8b の外周と光射出孔 9b を活性層 4 に投影させた図形の外周とを最短距離で各点間を結ぶ線分をそのまま延長することで透明膜 30 上に縮小投影される光射出孔 9b の縮小投影図形の範囲 (R4 (図4 参照)) 内に形成されていることが好ましい。貫通電極 31 がこの範囲内に配置されると、活性層のうち光射出孔に重なる範囲 9b よりも狭い範囲 (R5 (図4 参照)) の直下の部分で発光する光の量がその直下以外の部分で発光する光の量に比べて多くなる。その結果、光射出孔に向かう光の割合がさらに高くなり、光取り出し効率のさらなる向上が図られている。

[0052] 貫通電極 31 の形状は特に制限はなく、離散的に配置する複数の電極で構成されてもよい。

[0053] 貫通電極 31 を構成する金属材料としては接合 (コンタクト) 層 5 にオーミックコンタクトできる材料であれば、制限はない。例えば、AuBe、AuZn のいずれかを用いることができる。

また、貫通電極 31 の膜厚としては、0.05 ~ 2 μm とすることが好ましい。0.05 μm 未満では貫通電極の作成が困難であり、2 μm を越えるとコストが増大するためである。

[0054] 図4 に、図1 に示した発光ダイオードの貫通電極 31 及び通電窓 8b 近傍の拡大断面図を示す。図4 を用いて、図4 に示した断面における、貫通電極 31 の平面上の配置関係について説明する。

[0055] 図4 において、R1 は、通電窓 8b の外周の内側 (通電窓 8b 及び通電窓 8b に囲まれる範囲 S (図1 参照)) を示す。R2 は、光射出孔 9b の範囲 (広がり) を示す。R3 は、光射出孔 9b を活性層 4 に投影させた図形の外周の内側を示す。R3 は R2 と同じサイズである。R4 は、通電窓 8b の外周 (点 P は外周上の 1 点) と光射出孔 9b を活性層 4 に投影させた図形の外周 (点 Q は外周上の 1 点。なお、点 Q は活性層 9 の厚さの分、任意性があるが

、どの位置にとっても本発明の効果は得られる）とを最短距離で各点間（そのうちの 하나가 P Q 間）を結ぶ線分をそのまま延長することで透明膜 30 上に縮小投影される光射出孔 9b の縮小投影図形の範囲を示す。R5 は、貫通電極 31 が実際に形成されている範囲を示す。

[0056] 図 4 において、貫通電極 31 は平面視して、R4 の範囲内である、R5 の範囲を埋めるように形成されている。

貫通電極 31 がこの範囲に形成されていることにより、電極膜 9 のコンタクト部分 9bb（通電窓 8b を埋めている部分）と貫通電極 31 とを結ぶ範囲に電流が集中する。これにより、活性層 4 のうち T-T と Q-Q との間に配置する部分で発光する光の量がこの部分以外で発光する光の量よりも多くなる。これにより、光射出孔 9b の直下で発光する光の量がそれ以外で発光する光の量よりも格段に多くなる。その結果、光射出孔 9b から射出する光の割合が多くなり、光取り出し効率が向上する。

[0057] 図 1 に示すように、活性層で発光した光がメサ型構造部 7 の側面から素子外に漏れることを防止する光漏れ防止膜 16 を備えてもよい。

[0058] 光漏れ防止膜 16 の材料としては公知の反射材料を用いることができる。例えば、電極膜 9 の材料として AuGe/Ni/Au を用いた場合は、同じ AuGe/Ni/Au を用いることができる。

[0059] 本実施形態においては、光射出孔 9b の下に保護膜 8d（8）が形成されており、メサ型構造部 7 の頂面において保護膜 8d（8）を介して光射出孔 9b から光を取り出す構成である。

[0060] 光射出孔 9b の形状は、平面視して円形又は楕円であるのが好ましい。矩形等の角を持つ構造に比べ均一なコンタクト領域を形成しやすく、角部での電流集中等の発生を抑制できる。また、受光側でのファイバー等への結合に適しているからである。

[0061] 光射出孔 9b の径は、50～150 μm であるのが好ましい。50 μm 未満では射出部での電流密度が高くなり、低電流で出力が飽和してしまう一方、150 μm を超えると射出部全体への電流拡散が困難であるため、注入電流に

対する発光効率が低下するからである。

[0062] 支持基板 1 の材料としては、金属、Ge、Si、GaP、GaInP、SiC等を用いることができる。Ge基板、Si基板は安価で耐湿性に優れているという利点がある。GaP、GaInP、SiC基板は、発光部と熱膨張係数が近く、耐湿性に優れ、熱伝導性が良いという利点がある。金属基板はコスト面、機械強度、放熱性の観点から優れている。また、後述するように、複数の金属層（金属板）を積層した構造とすることにより、金属基板全体として熱膨張係数を調整できるという利点がある。

[0063] 支持基板 1 として金属基板を用いる場合、複数の金属層（金属板）を積層した構造とすることができる。

複数の金属層（金属板）を積層した構造とする場合、2種類の金属層が交互に積層されてなるのが好ましい。特に、この2種類の金属層（例えば、これらを第1の金属層、第2の金属層という）の層数は合わせて奇数とするのが好ましい。

[0064] 例えば、第2の金属層を第1の金属層で挟んだ金属基板とした場合、金属基板の反りや割れの観点から、第2の金属層として化合物半導体層より熱膨張係数が小さい材料を用いるときは、第1の金属層を化合物半導体層より熱膨張係数が大きい材料からなるものを用いるのが好ましい。金属基板全体としての熱膨張係数が化合物半導体層の熱膨張係数に近いものとなるため、化合物半導体層と金属基板とを接合する際の金属基板の反りや割れを抑制することができ、発光ダイオードの製造歩留まりを向上させることができるからである。同様に、第2の金属層として化合物半導体層より熱膨張係数が大きい材料を用いるときは、第1の金属層を化合物半導体層より熱膨張係数が小さい材料からなるものを用いるのが好ましい。金属基板全体としての熱膨張係数が化合物半導体層の熱膨張係数に近いものとなるため、化合物半導体層と金属基板とを接合する際の金属基板の反りや割れを抑制でき、発光ダイオードの製造歩留まりを向上できるからである。

以上の観点からは、2種類の金属層はいずれが第1の金属層でも第2の金

属層でも構わない。

2種類の金属層としては、例えば、銀（熱膨張係数＝ 18.9 ppm/K ）、銅（熱膨張係数＝ 16.5 ppm/K ）、金（熱膨張係数＝ 14.2 ppm/K ）、アルミニウム（熱膨張係数＝ 23.1 ppm/K ）、ニッケル（熱膨張係数＝ 13.4 ppm/K ）およびこれらの合金のいずれかからなる金属層と、モリブデン（熱膨張係数＝ 5.1 ppm/K ）、タングステン（熱膨張係数＝ 4.3 ppm/K ）、クロム（熱膨張係数＝ 4.9 ppm/K ）およびこれらの合金のいずれかからなる金属層との組み合わせを用いることができる。

好適な例としては、 Cu/Mo/Cu の3層からなる金属基板があげられる。上記の観点では Mo/Cu/Mo の3層からなる金属基板でも同様な効果が得られるが、 Cu/Mo/Cu の3層からなる金属基板は、機械的強度が高いMoを加工しやすいCuで挟んだ構成なので、 Mo/Cu/Mo の3層からなる金属基板よりも切断等の加工が容易であるという利点がある。

[0065] 金属基板全体としての熱膨張係数は例えば、 $\text{Cu (30 } \mu\text{m) / Mo (25 } \mu\text{m) / Cu (30 } \mu\text{m)}$ の3層からなる金属基板では 6.1 ppm/K であり、 $\text{Mo (25 } \mu\text{m) / Cu (70 } \mu\text{m) / Mo (25 } \mu\text{m)}$ の3層からなる金属基板では 5.7 ppm/K となる。

[0066] また、放熱の観点からは、金属基板を構成する金属層は熱伝導率が高い材料からなるのが好ましい。これにより、金属基板の放熱性を高くして、発光ダイオードを高輝度で発光させることができるとともに、発光ダイオードの寿命を長寿命とすることができるからである。

例えば、銀（熱伝導率＝ $420 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、銅（熱伝導率＝ $398 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、金（熱伝導率＝ $320 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、アルミニウム（熱伝導率＝ $236 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、モリブデン（熱伝導率＝ $138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、タングステン（熱伝導率＝ $174 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）およびこれらの合金などを用いることが好ましい。

それらの金属層の熱膨張係数が化合物半導体層の熱膨張係数と略等しい材

料からなるのがさらに好ましい。特に、金属層の材料が、化合物半導体層の熱膨張係数の $\pm 1.5 \text{ ppm/K}$ 以内である熱膨張係数を有する材料であるのが好ましい。これにより、金属基板と化合物半導体層との接合時の発光部への熱によるストレスを小さくすることができる。そしてその結果、金属基板を化合物半導体層と接続させたときの熱による金属基板の割れを抑制することができ、発光ダイオードの製造歩留まりを向上させることができる。

金属基板全体としての熱伝導率は例えば、 $\text{Cu} (30 \mu\text{m}) / \text{Mo} (25 \mu\text{m}) / \text{Cu} (30 \mu\text{m})$ の3層からなる金属基板では $250 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ となり、 $\text{Mo} (25 \mu\text{m}) / \text{Cu} (70 \mu\text{m}) / \text{Mo} (25 \mu\text{m})$ の3層からなる金属基板では $220 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ となる。

[0067] また、成長用基板に化合物半導体層等を成長後に、金属基板を接合してその成長用基板をエッチング液を用いて除去する際に、そのエッチング液による劣化を回避するために、金属基板の上面及び下面を金属保護膜で覆うことが好ましい。さらにその側面も金属保護膜で覆うことが好ましい。

金属保護膜の材料としては、密着性に優れるクロム、ニッケル、化学的に安定な白金、又は金の少なくともいずれか一つを含む金属からなるものであることが好ましい。

金属保護膜は密着性がよいニッケルと耐薬品に優れる金を組み合わせた層からなるのが最適である。

金属保護膜の厚さは特に制限はないが、エッチング液に対する耐性とコストのバランスから、 $0.2 \sim 5 \mu\text{m}$ である。好ましくは、 $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ が適正な範囲である。高価な金の場合は、厚さは $2 \mu\text{m}$ 以下が望ましい。

[0068] 反射層2及び化合物半導体層20（接合層3、活性層4、コンタクト層5）の構造には、公知の機能層を適時加えることができる。例えば、素子駆動電流を発光部の全般に平面的に拡散させるための電流拡散層、逆に素子駆動電流の通流する領域を制限するための電流阻止層や電流狭窄層など公知の層構造を設けることができる。

[0069] 図5に示すように、活性層4は、下部クラッド層11、下部ガイド層12

、発光層 13、上部ガイド層 14、上部クラッド層 15 が順次積層されて構成されている。すなわち、活性層 4 は、放射再結合をもたらすキャリア（担体；carrier）及び発光を発光層 13 に「閉じ込める」ために、発光層 13 の下側及び上側に対峙して配置した下部クラッド層 11、下部ガイド層 12、及び上部ガイド層 14、上部クラッド層 15 を含む、所謂、ダブルヘテロ（英略称：DH）構造とすることが高強度の発光を得る上で好ましい。

[0070] 図 5 に示すように、発光層 13 は、発光ダイオード（LED）の発光波長を制御するため、量子井戸構造とすることができる。すなわち、発光層 13 は、バリア層（障壁層ともいう）18 を両端に有する、井戸層 17 とバリア層 18 との多層構造（積層構造）とすることができる。

[0071] 発光層 13 の層厚は、0.02～2 μm の範囲であることが好ましい。発光層 13 の伝導型は特に限定されるものではなく、アンドープ、p 型及び n 型のいずれも選択することができる。発光効率を高めるには、結晶性が良好なアンドープ又は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満のキャリア濃度とすることが望ましい。

[0072] 井戸層 17 の材料としては公知の井戸層材料を用いることができる。例えば、AlGaAs、InGaAs、AlGaInP を用いることができる。

[0073] 井戸層 17 の層厚は、3～30 nm の範囲が好適である。より好ましくは、3～10 nm の範囲である。

[0074] バリア層 18 の材料としては、井戸層 17 の材料に対して適した材料を選択するのが好ましい。バリア層 18 での吸収を防止して発光効率を高めるため、井戸層 17 よりもバンドギャップが大きくなる組成とするのが好ましい。

[0075] 例えば、井戸層 17 の材料として AlGaAs 又は InGaAs を用いた場合にはバリア層 18 の材料として AlGaAs や AlGaInP が好ましい。バリア層 18 の材料として AlGaInP を用いた場合、欠陥を作りやすい As を含まないので結晶性が高く、高出力に寄与する。

井戸層 17 の材料として $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) を用いた場合、バリア層 18 の材料としてより Al 組成の高い $(\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_4 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$, $x_1 < x_4$) または井戸層 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) よりバンドギャップエネルギーが大きくなる AlGaAs を用いることができる。

[0076] バリア層 18 の層厚は、井戸層 17 の層厚と等しいか又は井戸層 17 の層厚より厚いのが好ましい。トンネル効果が生じる層厚範囲で十分に厚くすることにより、トンネル効果による井戸層間への広がりが抑制されてキャリアの閉じ込め効果が増大する。そのため、電子と正孔の発光再結合確率が大きくなり、発光出力の向上を図ることができる。

[0077] 井戸層 17 とバリア層 18 との多層構造において、井戸層 17 とバリア層 18 とを交互に積層する対の数は特に限定されるものではないが、2 対以上 40 対以下であることが好ましい。すなわち、発光層 13 には、井戸層 17 が 2 ~ 40 層含まれていることが好ましい。ここで、発光層 13 の発光効率が好適な範囲としては、井戸層 17 が 5 層以上であることが好ましい。一方、井戸層 17 及びバリア層 18 は、キャリア濃度が低いため、多くの対にすると順方向電圧 (V_F) が増大してしまう。このため、40 対以下であることが好ましく、20 対以下であることがより好ましい。

[0078] 下部ガイド層 12 及び上部ガイド層 14 は、図 5 に示すように、発光層 13 の下面及び上面にそれぞれ設けられている。具体的には、発光層 13 の下面に下部ガイド層 12 が設けられ、発光層 13 の上面に上部ガイド層 14 が設けられている。

[0079] 下部ガイド層 12 および上部ガイド層 14 の材料としては、公知の化合物半導体材料を用いることができる。発光層 13 の材料に対して適した材料を選択するのが好ましい。例えば、 AlGaAs 、 AlGaInP を用いることができる。

[0080] 例えば、井戸層 17 の材料として AlGaAs 又は InGaAs を用いる

と共に、バリア層 18 の材料として AlGaAs 又は AlGaInP を用いた場合、下部ガイド層 12 および上部ガイド層 14 の材料としては AlGaAs 又は AlGaInP が好ましい。下部ガイド層 12 および上部ガイド層 14 の材料として AlGaInP を用いた場合、欠陥を作りやすい As を含まないので結晶性が高く、高出力に寄与する。

井戸層 17 の材料として $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) を用いた場合、ガイド層 14 の材料としてより Al 組成の高い $(\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_4 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$, $x_1 < x_4$) または井戸層 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) よりバンドギャップエネルギーが大きくなる AlGaAs を用いることができる。

[0081] 下部ガイド層 12 及び上部ガイド層 14 は、夫々、下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 と発光層 13 との欠陥の伝搬を低減するために設けられている。このため、下部ガイド層 12 および上部ガイド層 14 の層厚は 10 nm 以上が好ましく、 $20\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ がより好ましい。

[0082] 下部ガイド層 12 及び上部ガイド層 14 の伝導型は特に限定されるものではなく、アンドープ、 p 型及び n 型のいずれも選択することができる。発光効率を高めるには、結晶性が良好なアンドープ又は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満のキャリア濃度とすることが望ましい。

[0083] 下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 は、図 5 に示すように、下部ガイド層 12 の下面及び上部ガイド層 14 上面にそれぞれ設けられている。

[0084] 下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 の材料としては、公知の化合物半導体材料を用いることができる。発光層 13 の材料に対して適した材料を選択するのが好ましい。例えば、 AlGaAs 、 AlGaInP を用いることができる。

[0085] 例えば、井戸層 17 の材料として AlGaAs 又は InGaAs を用い、バリア層 18 の材料として AlGaAs 又は AlGaInP を用いた場合、下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 の材料としては AlGaAs 又

は AlGaInP が好ましい。下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 の材料として AlGaInP を用いた場合、欠陥を作りやすい As を含まないので結晶性が高く、高出力に寄与する。

井戸層 17 の材料として $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) を用いた場合、クラッド層 15 の材料としてより Al 組成の高い $(\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_4 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$, $x_1 < x_4$) または井戸層 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) よりバンドギャップエネルギーが大きくなる AlGaAs を用いることができる。

[0086] 下部クラッド層 11 と上部クラッド層 15 とは、極性が異なるように構成されている。また、下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 のキャリア濃度及び厚さは、公知の好適な範囲を用いることができる。発光層 13 の発光効率が高まるように条件を最適化することが好ましい。なお、下部および上部クラッド層は設けなくてもよい。

また、下部クラッド層 11 及び上部クラッド層 15 の組成を制御することによって、化合物半導体層 20 の反りを低減させることができる。

[0087] コンタクト層 5 は、電極との接触抵抗を低下させるために設けられている。コンタクト層 5 の材料は、発光層 13 よりバンドギャップの大きい材料であることが好ましい。また、コンタクト層 5 のキャリア濃度の下限値は、電極との接触抵抗を低下させるために $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましく、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましい。キャリア濃度の上限値は、結晶性の低下が起こりやすくなる $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が望ましい。コンタクト層 5 の厚さは、 $0.05 \mu\text{m}$ 以上が好ましい。コンタクト層 5 の厚さの上限値は特に限定されないが、エピタキシャル成長に係るコストを適正範囲にするため、 $10 \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

[0088] 本発明の発光ダイオードは、ランプ、バックライト、携帯電話、ディスプレイ、各種パネル類、コンピュータ、ゲーム機、照明などの電子機器や、それらの電子機器を組み込んだ自動車などの機械装置等に組み込むことができ

る。

[0089] 〔発光ダイオード（第２の実施形態）〕

図６に、本発明を適用した発光ダイオードの変形例であって、貫通電極３２及び通電窓８ｂ近傍の拡大断面図を示す。

第１の実施形態では、貫通電極３１は平面視して光射出孔９ｂに重なる範囲（Ｒ２又はＲ３）内（特にＲ４内）に形成されていたが、第２の実施形態では、貫通電極３２は平面視して通電窓８ｂに重なる位置に形成された構成である点が相違する。

[0090] 貫通電極３２の形状は特に制限はなく、離散的に配置する複数の電極で構成されてもよい。

[0091] 図６を用いて、図６に示した断面における、貫通電極３２の平面上の配置関係について説明する。

図６において、Ｒ１は、通電窓８ｂの外周の内側（通電窓８ｂ及び通電窓８ｂに囲まれる範囲Ｓ（図１参照））を示し、Ｒ２は、光射出孔９ｂの範囲（広がり）を示す点は図４と同様である。Ｒ６は、通電窓８ｂの幅を示すものであって、通電窓８ｂに重なる位置（範囲）を示す。点線はその範囲を示すべく、通電窓８ｂの外周及び内周から下方に下ろしたものである。Ｒ７は、貫通電極３２が実際に形成されている範囲を示す。

[0092] 図６に示すように、貫通電極３２は透明膜内２であって平面視して通電窓８ｂに重なる位置Ｒ６に形成されている。

貫通電極３２がこの範囲内に配置すると、電極膜９のうち通電窓を埋めた部分（コンタクト部分９ｂｂ）と貫通電極３２との間に電流が集中する。この電流が集中する部分は光射出孔９ｂの直下に近い部分である。電流が集中する部分は発光量が多くなるから、光射出孔に向かう光の割合は高くなり、光取り出し効率の向上が図られている。

[0093] 〔発光ダイオード（第３の実施形態）〕

図７に、本発明を適用した第１の実施形態の発光ダイオードの変形例を示した断面模式図を示す。

第1の実施形態においては、光射出孔の下に保護膜が形成されており、メサ型構造部の頂面において保護膜を介して光射出孔から光を取り出す構成であった。第3の実施形態は、光射出孔の下に保護膜を有さず、保護膜を介さずに直接、光射出孔9bから光を取り出す構成である。

すなわち、第3の実施形態に係る発光ダイオード200では、保護膜28は、平坦部6の少なくとも一部28cと、メサ型構造部7の傾斜側面7aと、メサ型構造部7の頂面7bの周縁領域7baとを覆う。保護膜28はまた、平面視して周縁領域7baの内側にコンタクト層5の表面を露出する通電窓28bを有する。電極膜29は、保護膜28を介して平坦部6の少なくとも一部と、保護膜28を介してメサ型構造部7の傾斜側面7aと、保護膜28を介してメサ型構造部7の頂面7bの周縁領域7baとを覆う。さらに、電極膜29は、メサ型構造部7の頂面において通電窓28bから露出するコンタクト層5の表面の一部だけを覆ってコンタクト層5の表面の他の部分5aを露出する光射出孔29bを有する。

[0094] 図7に示すように、第2の実施形態の保護膜28は、メサ型構造部7の傾斜側面7aを覆う部分28aと、平坦部6の少なくとも一部を覆う部分28c（メサ型構造部7を挟んで反対側の平坦部を覆う部分28ccも含む）と、メサ型構造部7の頂面7bの周縁領域7baを覆う部分28baとからなる。保護膜28はまた、平面視して周縁領域7baの内側にコンタクト層5の表面を露出する通電窓28bを有する。すなわち、通電窓28bはメサ型構造部7の頂面7bにおいてコンタクト層5の表面のうち、周縁領域7baの下に位置する部分以外を露出する。保護膜8の上に電極膜（おもて面電極膜）9を形成するが、電流を流さない部分に保護膜8を形成している。

[0095] また、図7に示すように、第2の実施形態の電極膜（おもて面電極膜）29は、保護膜28のうち傾斜側面7aを覆う部分28aを覆う部分29aと、保護膜28のうち平坦部6の少なくとも一部を覆う部分28cを覆う部分29cと、保護膜28のうちメサ型構造部7の頂面7bの周縁領域7baを覆う部分28baの部分の覆う部分29baと、メサ型構造部7の頂面7bに

において保護膜28のうち符号28baの部分を越えて光射出孔29bを開口するようにコンタクト層5を覆う部分29bbとからなる。

第2の実施形態の電極膜(おもて面電極膜)29では、部分29bbが上記の第1の機能及び第2の機能の両方を担っている。

[0096] [発光ダイオードの製造方法]

次に、本発明の発光ダイオードの製造方法を説明する。

<支持基板の製造工程>

[1] 支持基板1としてGe基板を用いた場合(符号は図10A参照)
ゲルマニウム基板41のおもて面41Aに例えば、Ti層とAu層とIn層が順に形成された層構造(Ti/Au/Inでなる層)42を形成し、ゲルマニウム基板41の裏面に例えば、Ti層とAu層が順に形成された層構造(Ti/Auでなる層)43を形成して、支持基板1を作製する。

[0097] [2] 支持基板1として金属基板を用いた場合(変形例)

図8(a)～図8(c)は、金属基板の製造工程を説明するための金属基板の一部の断面模式図である。

金属基板1として、熱膨張係数が活性層の材料より大きい第1の金属層(第1の金属板)51bと、熱膨張係数が活性層の材料より小さい第2の金属層(第2の金属板)51aとを採用して、ホットプレスして形成する。

[0098] 具体的にはまず、2枚の略平板状の第1の金属層51bと、1枚の略平板状の第2の金属層51aを用意する。例えば、第1の金属層51bとしては厚さ10μmのCu、第2の金属層51aとしては厚さ75μmのMoを用いる。

次に、図8(a)に示すように、2枚の第1の金属層51bの間に第2の金属層51aを挿入してこれらを重ねて配置する。

[0099] 次に、重ね合わせたそれらの金属層を所定の加圧装置に配置して、高温下で第1の金属層51bと第2の金属層51aに矢印の方向に荷重をかける。これにより、図8(b)に示すように、第1の金属層51bがCuであり、第2の金属層51aがMoであり、Cu(10μm)/Mo(75μm)/

Cu ($10\mu\text{m}$) の3層からなる金属基板1を形成する。

金属基板1は、例えば、熱膨張係数が 5.7ppm/K となり、熱伝導率は $220\text{W/m}\cdot\text{K}$ となる。

[0100] 次に、図8(c)に示すように、金属基板1の全面すなわち、上面、下面及び側面を覆う金属保護膜51cを形成する。このとき、金属基板は各発光ダイオードに個片化のために切断される前なので、金属保護膜が覆う側面とは金属基板(プレート)の外周側面である。従って、個片化後の各発光ダイオードの金属基板1の側面を金属保護膜51cで覆う場合には別途、金属保護膜で側面を覆う工程を実施する。

図8(c)は、金属基板(プレート)の外周端側でない箇所の一部を示しているものであるため、外周側面の金属保護膜は図に表れていない。

金属基板は金属保護膜を備えない構成であってもよい。

[0101] 金属保護膜は公知の膜形成方法を用いることができるが、側面を含めた全面に膜形成ができるめっき法が最も好ましい。

例えば、無電解めっき法では、ニッケルその後、金をめっきし、金属基板の上面、側面、下面を順にニッケル膜及び金膜(金属保護膜)で覆われた金属基板1を作製できる。

めっき材質は、特に制限はなく、銅、銀、ニッケル、クロム、白金、金など公知の材質が適用できるが、密着性がよいニッケルと耐薬品に優れる金を組み合わせた層が最適である。

めっき法は、公知の技術、薬品が使用できる。電極が不要な無電解めっき法が、簡便で望ましい。

[0102] <化合物半導体層の形成工程>

まず、図9に示すように、半導体基板(成長用基板)61の一面61a上に、複数のエピタキシャル層を成長させて活性層4を含むエピタキシャル積層体80を形成する。

半導体基板61はエピタキシャル積層体80形成用の基板であり、例えば、一面61aが(100)面から 15° 傾けた面とされた、Siドープした

n型のGaAs単結晶基板である。エピタキシャル積層体80としてAlGaInP層またはAlGaAs層を用いる場合、エピタキシャル積層体80を形成する基板として砒化ガリウム(GaAs)単結晶基板を用いることができる。

[0103] 活性層4の形成方法としては、有機金属化学気相成長(Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD)法、分子線エピタキシャル(Molecular Beam Epitaxy: MBE)法や液相エピタキシャル(Liquid Phase Epitaxy: LPE)法などを用いることができる。

[0104] 本実施形態では、トリメチルアルミニウム($(\text{CH}_3)_3\text{Al}$)、トリメチルガリウム($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$)及びトリメチルインジウム($(\text{CH}_3)_3\text{In}$)をIII族構成元素の原料に用いた減圧MOCVD法を用いて、各層をエピタキシャル成長させる。

なお、Mgのドーピング原料にはビスシクロペンタジエニルマグネシウム($(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$)を用いる。また、Siのドーピング原料にはジシラン(Si_2H_6)を用いる。また、V族構成元素の原料としては、ホスフィン(PH_3)又はアルシン(AsH_3)を用いる。

なお、p型のGaP層3は例えば、 750°C で成長させ、その他のエピタキシャル成長層は例えば、 730°C で成長させる。

[0105] 具体的には、まず、成長用基板61の一面61a上に、Siをドーブしたn型のGaAsからなる緩衝層62aを成膜する。緩衝層62aとしては、例えば、Siをドーブしたn型のGaAsを用い、キャリア濃度を $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とし、層厚を $0.2 \mu\text{m}$ とする。

[0106] 次に、本実施形態では、緩衝層62a上にエッチングストップ層62bを成膜する。

エッチングストップ層62bは、半導体基板をエッチング除去する際、クラッド層および発光層までがエッチングされてしまうことを防ぐための層であり、例えば、Siドーブの $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなり、

層厚を $0.5 \mu\text{m}$ とする。

[0107] 次に、エッチングストップ層 62b 上に例えば、S i フォーメーション型の A $\times$ Ga $1-x$ As ($0.1 \leq x \leq 0.3$) からなるコンタクト層 5 を成膜する。

[0108] 次に、コンタクト層 5 上に例えば、S i をフォーメーション型の (A $1_{0.7}$ Ga 0.3) 0.5 In 0.5 P からなるクラッド層 63a を成膜する。

[0109] 次に、クラッド層 63a 上に例えば、A $1_{0.17}$ Ga 0.83 As / A $1_{0.3}$ Ga 0.7 As の対からなる井戸層 / バリア層の 3 対の積層構造からなる発光層 64 を成膜する。

[0110] 次に、発光層 64 上に例えば、Mg をフォーメーション型の (A $1_{0.7}$ Ga 0.3) 0.5 In 0.5 P からなるクラッド層 63b を成膜する。

[0111] 次に、クラッド層 63b 上に例えば、Mg フォーメーション型の Ga P 層の接合 (コンタクト) 層 3 を成膜する。

後述する金属基板等の基板に貼り付けする前に、貼り付け面を整える (すなわち、鏡面加工する。例えば、表面粗さを 0.2 nm 以下とする) ため、例えば、 $1 \mu\text{m}$ 程度研磨することが好ましい。

[0112] なお、クラッド層と発光層との間にガイド層を設けてもよい。

[0113] <透明膜及び貫通電極の形成工程>

本工程では、図 9 に示すように、エピタキシャル積層体 80 上に、透明膜 30 と、透明膜 30 内に透明膜 30 を貫通する貫通電極 31 (第 2 の実施形態の場合は「貫通電極 32」) を形成する。

公知の方法を用いて透明膜 30 と貫通電極 31 のいずれを先に形成してもよいが、以下では、透明膜 30、貫通電極 31 の順に形成する場合を説明する。

[0114] まず、接合 (コンタクト) 層 3 の全面に透明膜 30 を例えば、CVD 法によって成膜する。

次に、フォトリソグラフィ及びエッチングの手法を用いて、透明膜 30 の平面視して形成予定の光射出孔に重なる範囲内 (第 2 の実施形態の場合は「平

面視して形成予定の通電窓に重なる位置に」)に貫通電極用の孔を形成する。

具体的には、透明膜30上に貫通電極用の孔に対応する開口を有するレジストパターンを形成し、エッチングを行って透明膜30に貫通電極用の孔を形成する。

次に、その上に全面に例えば、蒸着法によって貫通電極を構成する金属材料からなる膜を成膜し、透明膜30の貫通電極用の孔を埋めて、透明膜30内に貫通電極31を形成する。

その後、レジストパターンを除去する。

[0115] <反射層の形成工程>

次に、図9に示すように、透明膜30上に、例えば、Auからなる反射層2を形成する。

[0116] <支持基板の接合工程>

〔1〕支持基板1としてGe基板を用いた場合（符号は図10A参照）

ゲルマニウム基板41のおもて面にTi/Au/Inでなる層42を形成し、裏面にTi/Auでなる層43を形成して作製した上述の支持基板1のおもて面側のIn層と、図10Aに示した構造体のAuからなる反射層2とを重ね合わせて、例えば、320℃で加熱・500g/cm²で加圧し、図10Aに示すように、支持基板1をエピタキシャル積層体を含む構造体に接合する。

[0117] 〔2〕支持基板1として金属基板を用いた場合

金属基板を反射層2に接合する前に、反射層2上に順に、バリア層（図示せず）、接合層（図示せず）又はそのいずれかの層を形成してもよい。

[0118] バリア層は、金属基板に含まれる金属が拡散して反射層2と反応するのを抑制することができる。

バリア層の材料としては、ニッケル、チタン、白金、クロム、タンタル、タングステン、モリブデン等を用いることができる。バリア層は、2種類以上の金属の組み合わせ、たとえば、反射層側から順に白金層とチタン層の組

み合わせなどにより、バリアの性能を向上させることができる。

なお、バリア層を設けなくても、接合層にそれらの材料を添加することにより接合層にバリア層と同様な機能を持たせることもできる。

[0119] 接合層は、活性層 4 を含む化合物半導体層 20 等を密着性よく金属基板 1 に接合するための層である。

接合層の材料としては、化学的に安定で、融点の低い Au 系の共晶金属などを用いられる。Au 系の共晶金属としては、例えば、AuGe、AuSn、AuSi、AuInなどの合金の共晶組成を挙げることができる。

[0120] 次に、図 10B に示すように、エピタキシャル積層体 80 や反射層 2 等を形成した半導体基板 61 と、金属基板の製造工程で形成した金属基板 1 とを減圧装置内に搬入して、反射層の接合面（接合層等を有する場合はその接合面（図 10B では接合層等は図示していない）と金属基板 1 の接合面 1A とが対向して重ね合わされるように配置する。

次に、減圧装置内を 3×10^{-5} Pa まで排気した後、重ね合わせた半導体基板 61 と金属基板 1 とを 400°C に加熱した状態で、500 kg の荷重を印加して反射層の接合面（接合層等を有する場合はその接合面）と金属基板 1 の接合面 1A とを接合して、接合構造体 90 を形成する。

[0121] 以下では、支持基板 1 として Ge 基板を用いた場合で説明する。

[0122] <半導体基板および緩衝層除去工程>

次に、図 11 に示すように、接合構造体 90 から、半導体基板 61 及び緩衝層 62a をアンモニア系エッチング液により選択的に除去する。

このとき、本実施形態の金属基板は金属保護膜に覆われており、エッチング液に対する耐性が高いため、金属基板が品質劣化することを回避できる。

[0123] <エッチングストップ層除去工程>

さらに、図 11 に示すように、エッチングストップ層 62b を塩酸系エッチング液により選択的に除去する。

本実施形態の金属基板は金属保護膜に覆われており、エッチング液に対する耐性が高いため、金属基板が品質劣化することが防止される。

[0124] (裏面電極の形成工程)

次に、図 1 1 に示すように、金属基板 1 の裏面に裏面電極 4 0 を形成する。

なお、支持基板 1 として金属基板を用いる場合は、裏面電極 4 0 を形成しなくてもよい。

[0125] (メサ型構造部の形成工程)

次に、メサ型構造部（保護膜及び電極膜を除く）を形成するために、メサ型構造部以外の部分の化合物半導体層すなわち、コンタクト層と活性層の少なくとも一部と、又は、コンタクト層と活性層と接合（コンタクト）層の少なくとも一部とをウェットエッチングする。図 1 で示したメサ型構造部を形成するためには、コンタクト層 5 と活性層 4 とをウェットエッチングする。

具体的には、まず、図 1 2 に示すように、化合物半導体層の最上層であるコンタクト層上にフォトリソグラフィによりメサ型構造部以外に開口 6 5 a を有するレジストパターン 6 5 を形成する。

メサ型構造部の平面視形状はレジストパターン 6 5 の開口 6 5 a の形状によって決まる。レジストパターン 6 5 に所望の平面視形状に対応する形状の開口 6 5 a を形成する。

レジストパターンにおいてメサ型構造部形成予定箇所の大きさを、「メサ型構造部」の頂面より各辺上下左右 1 0 μ m 程度大きめに形成するのが好ましい。

また、エッチングの深さすなわち、化合物半導体層のうち、どの層までエッチング除去するかは、エッチャントの種類及びエッチング時間によって決まる。

ウェットエッチングを行った後に、レジストを除去する。

[0126] 次に、メサ型構造部以外の部分の化合物半導体層についてウェットエッチングを行う。

ウェットエッチングに用いるエッチャントとしては限定的ではないが、A l G a A s 等の A s 系の化合物半導体材料に対してはアンモニア系エッチャ

ント（例えば、アンモニア／過酸化水素水混合液）が適しており、 AlGaInP 等のP系の化合物半導体材料に対してはヨウ素系エッチャント（例えば、ヨウ化カリウム／アンモニア）が適しており、リン酸／過酸化水素水混合液は AlGaAs 系に、ブロムメタノール混合液はP系に適している。

また、 As 系のみで形成されている構造では燐酸混合液、 As/P 系が混在している構造では As 系構造部にアンモニア混合液、P系構造部にヨウ素混合液を使用してもよい。

[0127] 上記に示したような化合物半導体層の場合すなわち、最上層の AlGaAs からなるコンタクト層5、 AlGaInP からなるクラッド層63a、 AlGaAs からなる発光層64、 AlGaInP からなるクラッド層63b、 GaP 層3の場合、 As 系のコンタクト層5及び発光層64と、他のP系の層とでそれぞれにエッチング速度が高い、異なるエッチャントを用いることが好ましい。

例えば、P系の層のエッチングにはヨウ素系エッチャントを用い、 As 系のコンタクト層5及び発光層64のエッチングにはアンモニア系エッチャントを用いることが好ましい。

ヨウ素系エッチャントとしては例えば、ヨウ素（I）、ヨウ化カリウム（KI）、純水（ H_2O ）、アンモニア水（ NH_4OH ）を混合したエッチャントを用いることができる。

また、アンモニア系エッチャントとしては例えば、アンモニア／過酸化水素水混合液（ $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ ）を用いることができる。

[0128] この好ましいエッチャントを用いてメサ型構造部以外の部分を除去する場合を説明すると、まず、メサ型構造部以外の部分の AlGaAs からなるコンタクト層5をアンモニア系エッチャントを用いてエッチング除去する。

このエッチングの際、次の層である AlGaInP からなるクラッド層63aがエッチングストップ層として機能するので、エッチング時間を厳密に管理することは要しないが、例えば、コンタクト層5の厚さを $0.05\mu\text{m}$ 程度とすると、10秒程度エッチングを行えばよい。

[0129] 次に、メサ型構造部以外の部分の AlGaInP からなるクラッド層 63a をヨウ素系エッチャントを用いてエッチング除去する。

エッチング速度は、ヨウ素 (I) 500 cc、ヨウ化カリウム (KI) 100 g、純水 (H_2O) 2000 cc、水酸化アンモニア水 (NH_4OH) 90 cc の比率で混合されたエッチャントを用いた場合、 $0.72 \mu\text{m}/\text{min}$ だった。

このエッチングの際も、次の層である AlGaAs からなる発光層 64 がエッチングストップ層として機能するので、エッチング時間を厳密に管理することは要しないが、このエッチャントの場合、クラッド層 63a の厚さが $4 \mu\text{m}$ 程度とすると、6 分間程度エッチングを行えばよい。

[0130] 次に、メサ型構造部以外の分の AlGaAs からなる発光層 64 をアンモニア系エッチャントを用いてエッチング除去する。

このエッチングの際も、次の層である AlGaInP からなるクラッド層 63b がエッチングストップ層として機能するので、エッチング時間を厳密に管理することは要しないが、発光層 64 の厚さを $0.25 \mu\text{m}$ 程度とすると、40 秒程度エッチングを行えばよい。

[0131] 次に、メサ型構造部以外の部分の AlGaInP からなるクラッド層 63b をヨウ素系エッチャントを用いてエッチング除去する。

このクラッド層 63b の下には GaP 層 3 があるが、 GaP 層 3 の下の金属からなる反射層 2 が露出すると電気特性上好ましくないので、 GaP 層 3 まででエッチングを止める必要がある。

例えば、 GaP 層を $3.5 \mu\text{m}$ 形成し、その後 $1 \mu\text{m}$ 研磨したとすると GaP 層の厚さは $2.5 \mu\text{m}$ となり、クラッド層 63b の厚さを $0.5 \mu\text{m}$ とすると、上記のヨウ素系エッチャントを用いた場合には、エッチング時間は 4 分間以下にする必要がある。

[0132] また、リン酸／過酸化水素水混合液（例えば、 $\text{H}_2\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 \sim 3 : 4 \sim 6 : 8 \sim 10$ ）を用いて、ウェットエッチング時間を 30～120 秒間として、上記エッチング除去を行うことができる。

[0133] 図13に、 $\text{H}_2\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 5 : 9$ （100 : 250 : 450）、56%（ H_2O ）、液温30℃～34℃のエッチャントを用いて、後述する実施例1で示した化合物半導体層についてウェットエッチングを行った場合のエッチング時間に対する深さ及び幅の関係を示す。表1にその条件及び結果を数値で示す。

[0134] [表1]

時間(sec)	深さ(μm)	幅(μm)
5	0.45	0.25
10	0.91	0.55
30	2.7	1.6
45	4.2	2.6
60	5.45	3.8
90	8.5	7.2

[0135] 図13及び表1から、エッチング深さ（図1の「h」に相当）はエッチング時間（sec）にほぼ比例するが、エッチング幅はエッチング時間が長くなるほど増大率が大きくなることがわかる。すなわち、図13に示すように、深くなるほど（図で下方に行くほど）、メサ型構造部の水平断面積（又は、幅もしくは径）の増大率が大きくなるように形成される。このエッチング形状はドライエッチングによるエッチング形状とは異なる。従って、メサ型構造部の傾斜斜面の形状から、メサ型構造部がドライエッチングで形成されたのか、又は、ウェットエッチングで形成されたのかを判別することができる。

[0136] （保護膜の形成工程）

次に、全面に保護膜8の材料を成膜する。具体的には、例えば、 SiO_2 を全面にスパッタリング法により成膜する。

[0137] （ストリートおよびコンタクト層の部分の保護膜の除去工程）

次に、全面にフォトリソグロフィによりコンタクト層上の通電窓8bに対応する部分とストリートに対応する部分と、を開

口とするレジストパターンを形成する。

次いで、例えば、バッファードフッ酸を用いてウェットエッチングにより、メサ型構造部の頂面の通電窓 8 b に対応する部分とストリートに対応する部分の保護膜 8 の材料を除去して保護膜 8 を形成する。

図 1 4 に、保護膜 8 の通電窓 8 b 近傍の平面図を示す。

その後、レジストを除去する。

[0138] (おもて面電極膜の形成工程)

次に、おもて面電極膜 9 を形成する。すなわち、保護膜 8 上、及び、保護膜 8 の通電窓 8 b から露出しているコンタクト層 5 上に、光射出孔 9 b を有するおもて面電極膜 9 を形成する。

具体的には、全面にフォトリソグロフィにより光射出孔 9 b に対応する部分と、ウェハ基板上の多数の発光ダイオード間の切断部分（ストリート）とを含む、電極膜が不要な部分以外を開口とするレジストパターンを形成する。次いで、電極膜材料を蒸着する。この蒸着だけではメサ型構造部の傾斜側面には電極膜材料が十分には蒸着されない場合は、さらに、メサ型構造部の傾斜側面に電極膜材料を蒸着するために蒸着金属が回りこみやすいプラネタリタイプの蒸着装置を用いて蒸着を行う。

その後、レジストを除去する。

[0139] 光射出孔 9 b の形状はレジストパターン（図示せず）の開口の形状によって決まる。この開口形状を所望の光射出孔 9 b の形状に対応するものとしたレジストパターンを形成する。

[0140] (個片化工程)

次に、ウェハ基板上の発光ダイオードを個片化する。

具体的には、例えば、ダイシングソーもしくはレーザーにより、ストリート部分を切断してウェハ基板上の発光ダイオード毎に切断して個片化する。

[0141] (金属基板側面の金属保護膜形成工程)

支持基板として金属基板を用いた場合は、個片化された発光ダイオードの切断された金属基板の側面について、上面及び下面の金属保護膜の形成条

件と同様な条件で金属保護膜を形成してもよい。

実施例

[0142] (実施例)

以下に、本発明の発光ダイオードは第1の実施形態の実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明はこの実施例にのみ限定されるものではない。本実施例では、特性評価のために発光ダイオードチップを基板上に実装した発光ダイオードランプを作製した。

本実施例では、図1及び図4を参照して、通電窓8bの外径R1を $166\mu\text{m}$ 、その内径を $154\mu\text{m}$ 、光射出孔の径R2を $150\mu\text{m}$ 、貫通電極31の外径R5を $100\mu\text{m}$ とした。

[0143] まず、ゲルマニウム基板41の表面にTi/Au/Inでなる層42を $0.1\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}/0.3\mu\text{m}$ の厚さで形成した。ゲルマニウム基板41の裏面に、Ti/Auでなる層43を $0.1\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$ の厚さで形成した。

[0144] 次に、Siをドーピングしたn型のGaAs単結晶からなるGaAs基板上に、化合物半導体層を順次積層して発光波長 730nm のエピタキシャルウェハを作製した。

GaAs基板は、(100)面から(0-1-1)方向に 15° 傾けた面を成長面とし、キャリア濃度を $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ とした。また、GaAs基板の層厚は、約 $0.5\mu\text{m}$ とした。化合物半導体層としては、SiをドーピングしたGaAsからなるn型の緩衝層62a、Siドーピングの $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるエッチングストップ層62b、Siドーピングしたn型の $\text{Al}_{0.3}\text{GaAs}$ からなるコンタクト層5、Siをドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるn型の上部クラッド層63a、 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなる上部ガイド層、 $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ の対からなる井戸層/バリア層64、 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなる下部ガイド層、Mgをドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるp型の下部クラッド層63b、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる薄膜

の中間層、Mgドープしたp型GaP層3である。

- [0145] 本実施例では、減圧有機金属化学気相堆積装置法（MOCVD装置）を用い、直径50mm、厚さ250 μ mのGaAs基板に化合物半導体層をエピタキシャル成長させて、エピタキシャルウェハを形成した。エピタキシャル成長層を成長させる際、III族構成元素の原料としては、トリメチルアルミニウム（ $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ ）、トリメチルガリウム（ $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ ）及びトリメチルインジウム（ $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ ）を使用した。また、Mgのドーピング原料としては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム（ $\text{bis}-(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$ ）を使用した。また、Siのドーピング原料としては、ジシラン（ Si_2H_6 ）を使用した。また、V族構成元素の原料としては、ホスフィン（ PH_3 ）、アルシン（ AsH_3 ）を使用した。
- また、各層の成長温度としては、p型GaP層は750 $^{\circ}\text{C}$ で成長させた。その他の各層では700 $^{\circ}\text{C}$ で成長させた。

- [0146] GaAsからなる緩衝層は、キャリア濃度を約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約0.5 μ mとした。エッチングストップ層は、キャリア濃度を $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約0.5 μ mとした。コンタクト層は、キャリア濃度を約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約0.05 μ mとした。上部クラッド層は、キャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約3.0 μ mとした。井戸層は、アンドープで層厚が約7nmの $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{As}$ とし、バリア層はアンドープで層厚が約19nmの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ とした。また、井戸層とバリア層とを交互に3対積層した。下部ガイド層は、アンドープで層厚を約50nmとした。下部クラッド層は、キャリア濃度を約 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約0.5 μ mとした。中間層は、キャリア濃度を約 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約0.05 μ mとした。GaP層は、キャリア濃度を約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約3.5 μ mとした。
- [0147] 次に、GaP層3を表面から約1 μ mの深さに至る領域まで研磨して、鏡面加工した。この鏡面加工によって、GaP層の表面の粗さを0.18nmとした。

[0148] 次に、GaP層3上に、膜厚500nmでかつ外径R5（図4参照）100 μ mのAuBeからなる貫通電極31と、膜厚500nmのSiO₂からなる透明膜30を形成した。

[0149] 次に、透明膜30及び貫通電極31上に、Auからなる反射層2を厚さ0.7 μ m形成した。さらに、反射層上にバリア層としてTi層を厚さ0.5 μ m形成し、バリア層上に接合層としてAuGe層を厚さ1.0 μ m形成した。

[0150] 次に、GaAs基板上に化合物半導体層及び反射層等を形成した構造体と、金属基板とを対向して重ね合わせるように配置して減圧装置内に搬入し、400℃で加熱した状態で、500kg重の荷重でそれらを接合して接合構造体を形成した。

[0151] 次に、接合構造体から、化合物半導体層の成長基板であるGaAs基板と緩衝層とをアンモニア系エッチャントにより選択的に除去し、さらに、エッチングストップ層を塩酸系エッチャントにより選択的に除去した。

[0152] （裏面電極の形成工程）

次に、金属基板1の裏面に、Auを1.2 μ m、AuBeを0.15 μ mを順に真空蒸着法によって成膜し、裏面電極40を形成した。

[0153] 次に、メサ型構造部を形成するため、レジストパターンを形成後、アンモニア／過酸化水素水混合液（NH₄OH：H₂O₂：H₂O）を用いて、10秒間ウェットエッチングを行って、メサ型構造部以外の部分のコンタクト層5を除去した。

次に、ヨウ素（I）500cc、ヨウ化カリウム（KI）100g、純水（H₂O）2000cc、水酸化アンモニア水（NH₄OH）90ccの比率で混合されたヨウ素系エッチャントを用いて、45秒間ウェットエッチングを行って、メサ型構造部以外の部分の上部クラッド層63aを除去した。

次に、上記アンモニア／過酸化水素水混合液（NH₄OH：H₂O₂：H₂O）を用いて、40秒間ウェットエッチングを行って、メサ型構造部以外の部分の上部ガイド層、発光層64及び下部ガイド層を除去した。

次に、上記ヨウ素系エッチャントを用いて、50秒間ウェットエッチングを行って、メサ型構造部以外の部分の下部クラッド層63bを除去した。

こうしてメサ型構造部を形成した。

[0154] 次に、保護膜を形成するため、 SiO_2 からなる保護膜を $0.5\mu\text{m}$ 程度形成した。

その後、レジストパターンを形成後、バッファードフッ酸を用いて、平面視同心円形（外径 d_{out} : $166\mu\text{m}$ 、内径 d_{in} : $154\mu\text{m}$ ）の開口（図11参照）、および、ストリート部の開口を形成した。

[0155] 次に、おもて面電極（膜）を形成するため、レジストパターンを形成後、 AuGe 、 Ni 合金を厚さが $0.5\mu\text{m}$ 、 Pt を $0.2\mu\text{m}$ 、 Au を $1\mu\text{m}$ となるように真空蒸着法によって成膜し、リフトオフにより平面視円形（径: $150\mu\text{m}$ ）の光射出孔9bを有する、長辺 $350\mu\text{m}$ 、短辺 $250\mu\text{m}$ に形成してなるおもて面電極（ n 型オーミック電極）を形成した。

その後、 450°C で10分間熱処理を行って合金化し、低抵抗の n 型オーミック電極を形成した。

[0156] 次に、メサ型構造部の側面に光漏れ防止膜16を形成するため、レジストパターンを形成後、 Ti を $0.5\mu\text{m}$ 、 Au を $0.17\mu\text{m}$ を順に蒸着し、リフトオフにより光漏れ防止膜16を形成した。

[0157] 次に、ウェットエッチングとレーザー切断を順に行って個片化して、実施例の発光ダイオードを作製した。

[0158] 上記のようにして作製した実施例の発光ダイオードチップを、マウント基板上に実装した発光ダイオードランプを100個組み立てた。この発光ダイオードランプは、マウントは、ダイボンダーで支持（マウント）し、 p 型オーミック電極と p 電極端子とを金線でワイヤボンディングした後、一般的なエポキシ樹脂で封止して作製した。

[0159] この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）について、 n 型及び p 型電極間に電流を流したところ、ピーク波長 730nm とする赤外光が出射された。順方向に20ミリアンペア（ mA ）の電流を通流した際の順方向電圧（

V_F) は 1.8 V であった。順方向電流を 20 mA とした際の発光出力は 4.3 mW であった。また、応答速度 (立ち上がり時間: T_r) は 12 ns であった。

[0160] 作製した 100 個の発光ダイオードランプのいずれについても、同程度の特性が得られ、保護膜が不連続な膜になった場合のリーク (短絡) や電極用金属膜が不連続な膜になった場合の通電不良が原因と思われる不良はなかった。

[0161] (比較例)

比較例の発光ダイオードは、従来技術である液相エピタキシャル法で形成した。GaAs 基板に $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ 発光層とするダブルヘテロ構造の発光部を有する発光ダイオードに変更したものである。

[0162] 比較例の発光ダイオードの作製は、具体的には、n 型の (100) 面の GaAs 単結晶基板に、 $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ からなる n 型の上部クラッド層を $20\ \mu m$ 、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ からなるアンドープの発光層を $2\ \mu m$ 、 $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ からなる p 型の下部クラッド層を $20\ \mu m$ 、発光波長に対して透明な $Al_{0.6}Ga_{0.4}As$ からなる p 型の厚膜層を $120\ \mu m$ となるように液相エピタキシャル方法によって作製した。このエピタキシャル成長後に GaAs 基板を除去した。次に、n 型 $AlGaAs$ の表面に直径 $100\ \mu m$ の n 型オーミック電極を形成した。次に、p 型 $AlGaAs$ の裏面に直径 $20\ \mu m$ の p 型オーミック電極を $80\ \mu m$ 間隔に形成した。次に、ダイシングソーにより $350\ \mu m$ 間隔で切断した後、破碎層をエッチング除去して比較例の発光ダイオードチップを作製した。

[0163] n 型及び p 型オーミック電極間に電流を流したところ、ピーク波長を 730 nm とする赤外光が出射された。また、順方向に 20 ミリアンペア (mA) の電流を通流した際の順方向電圧 (V_F) は、約 1.9 ボルト (V) となった。また、順方向電流を 20 mA とした際の発光出力は、5 mW であった。また、応答速度 (T_r) は 15.6 ns であり、本発明の実施例に比べて遅かった。

符号の説明

- [0164] 1 支持基板
- 2 反射層
- 3 接合（コンタクト）層
- 4 活性層
- 5 コンタクト層
- 6 平坦部
- 7 メサ型構造部
- 7 a 傾斜側面
- 7 b 頂面
- 7 b a 周縁領域
- 8、2 8 保護膜
- 8 b、2 8 b 通電窓
- 9、2 9 電極膜
- 9 b、2 9 b 光射出孔
- 1 1 下部クラッド層
- 1 2 下部ガイド層
- 1 3 発光層
- 1 4 上部ガイド層
- 1 5 上部クラッド層
- 1 6 光漏れ防止膜
- 2 0 化合物半導体層
- 3 0 透明膜
- 3 1、3 2 貫通電極
- 4 0 裏面電極
- 5 1 c 金属保護膜
- 6 1 半導体基板（成長用基板）
- 6 3 a 上部クラッド層

6 3 b 下部クラッド層

6 4 発光層

6 5 レジストパターン

1 0 0、2 0 0、 発光ダイオード

請求の範囲

[請求項1]

支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードであって、

その上部に平坦部と、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とを備え、

前記平坦部及び前記メサ型構造部はそれぞれ、少なくとも一部は保護膜、電極膜によって順に覆われてなり、

前記メサ型構造部は少なくとも前記活性層の一部を含むものであって、前記傾斜側面はウェットエッチングによって形成されてなると共に前記頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなり、

前記保護膜は、前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有し、

前記電極膜は、前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜であり、

前記透明膜は、前記反射層と前記化合物半導体層との間に形成され、前記透明膜内であって平面視して前記光射出孔に重なる範囲内に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように、貫通電極が貫設されている、ことを特徴とする発光ダイオード。

[請求項2]

支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に取り出す発光ダイオードであって、

その上部に平坦部と、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とを備え、

前記平坦部及び前記メサ型構造部はそれぞれ、少なくとも一部は保護膜、電極膜によって順に覆われてなり、

前記メサ型構造部は少なくとも前記活性層の一部を含むものであって、前記傾斜側面はウェットエッチングによって形成されてなると共に前記頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなり、

前記保護膜は、前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有し、

前記電極膜は、前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜であり、

前記透明膜は、前記反射層と前記化合物半導体層との間に形成され、前記透明膜内であって平面視して前記通電窓に重なる位置に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように、貫通電極が貫設されている、ことを特徴とする発光ダイオード。

[請求項3] 前記貫通電極が、前記通電窓の外周と前記光射出孔を前記活性層に投影させた図形の外周とを最短距離で各点間を結ぶ線分をそのまま延長することで前記透明膜上に縮小投影される前記光射出孔の縮小投影図形の範囲内に形成されている、ことを特徴とする請求項1に記載の発光ダイオード。

[請求項4] 前記貫通電極がAuBe、AuZnのいずれかからなることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

- [請求項5] 前記透明膜が SiO_2 、 SiN 、 SiON 、 Al_2O_3 、 MgF_2 、 TiO_2 、 TiN 、 ZnO 、のいずれかからなることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項6] 前記コンタクト層は前記電極膜に接触することを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項7] 前記メサ型構造部は平面視して矩形であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項8] 前記メサ型構造部の各傾斜側面は前記基板のオリエンテーションフラットに対してオフセットして形成されていることを特徴とする請求項7に記載の発光ダイオード。
- [請求項9] 前記メサ型構造部の高さが $3 \sim 7 \mu\text{m}$ であって、平面視した前記傾斜側面の幅が $0.5 \sim 7 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項10] 前記光出射孔は平面視して円形又は楕円であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項11] 前記光出射孔の径が $50 \sim 150 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項10に記載の発光ダイオード。
- [請求項12] 前記電極膜の前記平坦部上の部分にボンディングワイヤを有することを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項13] 前記活性層に含まれる発光層が多重量子井戸からなることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項14] 前記活性層に含まれる発光層が $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$)、 $(\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2})\text{As}$ ($0 \leq x2 \leq 1$)、 $(\text{In}_{x3}\text{Ga}_{1-x3})\text{As}$ ($0 \leq x3 \leq 1$)のいずれかからなることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項15] 支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコン

タクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードの製造方法であって、

成長用基板上に、コンタクト層及び活性層を順に含む化合物半導体層を形成する工程と、

前記化合物半導体層上に、透明膜と、該透明膜内であって平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように貫設された貫通電極とを形成する工程と、

前記透明膜及び前記貫通電極上に金属からなる反射層を形成する工程と、

前記反射層上に支持基板を接合する工程と、

前記成長用基板を除去する工程と、

前記化合物半導体層をウェットエッチングして、頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなるメサ型構造部と該メサ型構造部の周囲に配置する平坦部とを形成する工程と、

前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有するように、保護膜を形成する工程と、

前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜である電極膜を形成する工程と、

を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。

[請求項16]

支持基板上に、金属からなる反射層と、透明膜と、活性層及びコンタクト層を順に含む化合物半導体層とを順に備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードの製造方法であって、

成長用基板上に、コンタクト層及び活性層を順に含む化合物半導体層を形成する工程と、

前記化合物半導体層上に、透明膜と、該透明膜内であって平面視して形成予定の通電窓に重なる位置に、前記化合物半導体層及び前記反射層に接触するように貫設された貫通電極とを形成する工程と、

前記透明膜及び前記貫通電極上に金属からなる反射層を形成する工程と、

前記反射層上に支持基板を接合する工程と、

前記成長用基板を除去する工程と、

前記化合物半導体層をウェットエッチングして、頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さく形成されてなるメサ型構造部と該メサ型構造部の周囲に配置する平坦部とを形成する工程と、

前記平坦部の少なくとも一部と、前記メサ型構造部の前記傾斜側面と、前記メサ型構造部の前記頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して前記周縁領域の内側であってかつ前記光射出孔の周囲に配置して、前記化合物半導体層の表面の一部を露出する前記通電窓を有するように、保護膜を形成する工程と、

前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記平坦部上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に前記光射出孔を有するように形成された連続膜である電極膜を形成する工程と、

を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。

[請求項17]

前記ウェットエッチングを、リン酸／過酸化水素水混合液、アンモニア／過酸化水素水混合液、ブロムメタノール混合液、ヨウ化カリウム／アンモニアの群から選択される少なくとも1種以上を用いて行うことを特徴とする請求項15又は16のいずれかに記載の発光ダイオードの製造方法。