

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5961359号  
(P5961359)

(45) 発行日 平成28年8月2日(2016.8.2)

(24) 登録日 平成28年7月1日(2016.7.1)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 33/20 (2010.01)  
H01L 33/10 (2010.01)H01L 33/20  
H01L 33/10

請求項の数 16 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2011-204618 (P2011-204618)  
 (22) 出願日 平成23年9月20日 (2011.9.20)  
 (65) 公開番号 特開2013-65785 (P2013-65785A)  
 (43) 公開日 平成25年4月11日 (2013.4.11)  
 審査請求日 平成26年6月19日 (2014.6.19)

(73) 特許権者 000002004  
 昭和電工株式会社  
 東京都港区芝大門1丁目13番9号  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100108578  
 弁理士 高橋 詔男  
 (74) 代理人 100089037  
 弁理士 渡邊 隆  
 (74) 代理人 100094400  
 弁理士 鈴木 三義  
 (74) 代理人 100107836  
 弁理士 西 和哉  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】発光ダイオード及びその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に反射層と活性層を含む化合物半導体層とを備えた発光ダイオードであって、上面及び側面を有する支持構造部と、該支持構造部上に配置し、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とからなり、

前記支持構造部は少なくとも前記反射層の一部を含むものであって、前記上面から前記基板側に少なくとも前記反射層を越える位置まで延在する傾斜部を含み、該傾斜部を含む水平方向の断面積が前記上面に向かって連続的に小さく形成されてなり、

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、平面視して矩形であり、4つの前記傾斜側面は順テーパーで構成され、水平方向の断面積が前記頂面に向かって連続的に小さく形成されてなり、

前記支持構造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、

前記保護膜は、前記上面の少なくとも一部と、前記側面のうち少なくとも傾斜部と、前記傾斜側面の全面と、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に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、

前記電極層は、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、前記上面に形成された保護膜の一部と前記傾斜側面に形成された保護膜の全面を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に光射出孔を有するように形成された連続膜である、ことを特徴とする発光ダイオード。

## 【請求項 2】

前記反射層がD B R反射層であ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 3】

前記活性層の基板と反対側に上部D B R反射層を備えたことを特徴とする請求項2に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 4】

前記傾斜部が二以上の傾斜部分からなり、各傾斜部分を含む水平方向の断面積はそれぞれ前記上面に向かって連続的に小さく、前記上面に近い傾斜部分を含む水平方向の断面積の方が前記上面に遠い傾斜部分を含む水平方向の断面積よりも小さい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。

10

## 【請求項 5】

前記電極層及び／又は前記保護膜上に光漏れ防止膜を備えたことを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 6】

前記化合物半導体層が、前記電極層に接触するコンタクト層を有することを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 7】

前記メサ型構造部が前記活性層のすべてと、前記反射層の一部または全部を含むことを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

20

## 【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1～7のいずれか一項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3～7μmであって、平面視した前記傾斜側面の幅が0.5～7μmであることを特徴とする請求項1～8のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 10】

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

## 【請求項 11】

前記光射出孔の径が50～150μm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。

30

## 【請求項 12】

前記電極層の前記上面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1～11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1～12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((Al<sub>x</sub><sub>1</sub>Ga<sub>1-x</sub><sub>1</sub>)<sub>y</sub><sub>1</sub>In<sub>1-y</sub><sub>1</sub>P(0X<sub>1</sub>1, 0 < Y<sub>1</sub>1), (Al<sub>x</sub><sub>2</sub>Ga<sub>1-x</sub><sub>2</sub>)As(0X<sub>2</sub>1), (In<sub>x</sub><sub>3</sub>Ga<sub>1-x</sub><sub>3</sub>)As(0X<sub>3</sub>1))のいずれかからなることを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

40

## 【請求項 15】

上面及び側面を有する支持構造部と、該支持構造部上に配置し、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とからなる発光ダイオードの製造方法であって、

基板上に、反射層と活性層を含む化合物半導体層とを形成する工程と、

前記化合物半導体層に第1のウェットエッチングを行って、平面視して矩形で、4つの前記傾斜側面が順テーパー状であって、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、支持構造部の上面

50

とを形成する工程と、

個片化用切断ラインに沿って第2のウェットエッチングを行って、支持構造部の側面の傾斜部を形成する工程と、

前記傾斜部と、前記上面の少なくとも一部と、前記傾斜側面の全面と、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に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、前記支持構造部及びメサ型構造部上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、前記上面に形成された保護膜の一部と前記傾斜側面に形成された保護膜の全面を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に光射出孔を有するように、連続膜である電極層を形成する工程と、を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。 10

【請求項16】

前記第1及び第2の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、プ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に記載の発光ダイオードの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【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。 20

【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、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のうち特に、共振器型発光ダイオード（R C L E D : Resonant-Cavity Light Emitting Diode）は、2つのミラーからなる共振器内で発生する定在波の腹が共振器内に配置した発光層に位置するように構成すると共に、光出射側のミラーの反射率を基板側のミラーの反射率よりも低く設定することによりレーザ発振させないでLEDモードで動作する、高効率の発光素子である（特許文献2, 3）。共振器型発光ダイオードは通常の発光ダイオードと比較して、共振器構造の効果によって、発光スペクトル線幅が狭い、出射光の指向性が高い、自然放出によるキャリア寿命が短いため高速応答が可能である、等の特徴があるため、センサなどに適している。 30

【0004】

共振器型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上部ミラー層及び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出射用の開口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4）。 40

図13は、基板31上に、下部ミラー層32と、活性層33と、上部ミラー層34と、コンタクト層35とを順に備えた共振器型発光ダイオードであって、活性層33と、上部ミラー層34と、コンタクト層35とをピラー構造37とし、ピラー構造37及びその周囲を保護膜38で被覆し、その保護膜38上に電極膜39を形成し、ピラー構造37の頂面37a（光取り出し面）において電極膜39に光出射用の開口39aを形成した共振器型発光ダイオードを示す。符号40は裏面電極である。

【0005】

図13で示したようなピラー構造の電流狭窄構造は、共振器型ではない点光源型の発光ダイオードにおいても適用が可能である。 50

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【特許文献1】特開2005-31842号公報

【特許文献2】特開2002-76433号公報

【特許文献3】特開2007-299949号公報

【特許文献4】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】

## 【0007】

10

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ティングによって実施するため、図13に示すように、ピラー構造37の側面37bは基板31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）膜を形成するが、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13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て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13中の符号B）には、通電不良の原因になる。

## 【0008】

20

また、図13で示した発光ダイオードでは、ピラー構造を支持する構造32の側面32aが露出しているため、側面が大気や大気中の水分と接触して劣化してしまうという問題がある。特に、下部ミラー層32がA1の組成が高い半導体層の場合、側面が酸化して特性が低下してしまう。

## 【0009】

また、ピラー構造以外の部分の除去をドライエッティングで行うと、高価な装置が必要となり、エッティング時間も長くかかるという問題もある。

## 【0010】

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、安定で高輝度の発光が担保されていると共に、側面の劣化が防止され、高信頼性及び長寿命化が図られている発光ダイオード、及び、リークや通電不良を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。

30

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

上記の目的を達成するために、本発明は以下の手段を提供する。

(1) 基板上に反射層と活性層を含む化合物半導体層とを備えた発光ダイオードであって、上面及び側面を有する支持構造部と、該支持構造部上に配置し、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とからなり、前記支持構造部は少なくとも前記反射層の一部を含むものであって、その側面が、ウェットエッティングによって形成され、前記上面から前記基板側に少なくとも前記反射層を越える位置まで延在する傾斜部を含み、該傾斜部を含む水平方向の断面積が前記上面に向かって連続的に小さく形成されてなり、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、その傾斜側面がウェットエッティングによって形成されてなると共に、水平方向の断面積が前記頂面に向かって連続的に小さく形成されてなり、前記支持構造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、前記保護膜は、前記上面の少なくとも一部と、前記側面のうち少なくとも傾斜部と、前記傾斜側面と、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に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、前記電極層は、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、前記上面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

40

50

造部の頂面上に光射出孔を有するように形成された連続膜である、ことを特徴とする発光ダイオード。

(2) 前記反射層がD B R反射層であることを特徴とする(1)に記載の発光ダイオード。

(3) 前記活性層の基板と反対側に上部D B R反射層を備えたことを特徴とする(2)に記載の発光ダイオード。

(4) 前記傾斜部が二以上の傾斜部分からなり、各傾斜部分を含む水平方向の断面積はそれぞれ前記上面に向かって連続的に小さく、前記上面に近い傾斜部分を含む水平方向の断面積の方が前記上面に遠い傾斜部分を含む水平方向の断面積よりも小さいことを特徴とする(1)～(3)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。 10

(5) 前記電極層及び/又は前記保護膜上に光漏れ防止膜を備えたことを特徴とする(1)～(4)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(6) 前記化合物半導体層が、前記電極層に接触するコンタクト層を有することを特徴とする(1)～(5)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(7) 前記メサ型構造部が前記活性層のすべてと、前記反射層の一部または全部を含むことを特徴とする(1)～(6)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(8) 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)～(7)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(9) 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(8)に記載の発光ダイオード。 20

(10) 前記メサ型構造部の高さが3～7μmであって、平面視した前記傾斜側面の幅が0.5～7μmであることを特徴とする(1)～(9)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(11) 前記光射出孔は平面視して円形又は橢円であることを特徴とする(1)～(10)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(12) 前記光射出孔の径が50～150μmであることを特徴とする(11)に記載の発光ダイオード。

(13) 前記電極層の前記上面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)～(12)のいずれか一つ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多重量子井戸からなることを特徴とする(1)～(13)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。 30

(15) 前記活性層に含まれる発光層が((Al<sub>x</sub><sub>1</sub> Ga<sub>1-x</sub><sub>1</sub>)<sub>y</sub><sub>1</sub> In<sub>1-y</sub><sub>1</sub> P<sub>(0.5X1+1, 0 < Y1 < 1)</sub>、(Al<sub>x</sub><sub>2</sub> Ga<sub>1-x</sub><sub>2</sub>)<sub>A</sub> S<sub>(0.5X2+1)</sub>、(In<sub>x</sub><sub>3</sub> Ga<sub>1-x</sub><sub>3</sub>)<sub>A</sub> S<sub>(0.5X3+1)</sub>)のいずれかからなることを特徴とする(1)～(14)のいずれか一つに記載の発光ダイオード。

(16) 上面及び側面を有する支持構造部と、該支持構造部上に配置し、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とからなる発光ダイオードの製造方法であって、基板上に、反射層と活性層を含む化合物半導体層とを形成する工程と、前記化合物半導体層に第1のウェットエッティングを行って、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、支持構造部の上面とを形成する工程と、個片化用切断ラインに沿って第2のウェットエッティングを行って、支持構造部の側面の傾斜部を形成する工程と、前記傾斜部と前記上面の少なくとも一部とを覆うと共に、前記メサ型構造部の頂面に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、前記支持構造部及びメサ型構造部上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、前記上面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光射出孔を有するように、連続膜である電極層を形成する工程と、を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。 40

(17) 前記第1及び第2のウェットエッティングを、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、プ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(16)に記載の発

光ダイオードの製造方法。

【発明の効果】

【0012】

本発明の発光ダイオードによれば、上面及び側面を有する支持構造部と、該支持構造部上に配置し、傾斜側面及び頂面を有するメサ型構造部とからなる構成を採用したので、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。

また、メサ型構造部の傾斜側面はウェットエッティングによって形成されてなると共にメサ型構造部が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において、支持構造部及び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、保護膜は、上面の少なくとも一部と、側面のうち少なくとも傾斜部と、傾斜側面と、頂面の周縁領域とを少なくとも覆うとともに、平面視して周縁領域の内側に化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓を有し、電極層は、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、前記上面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光射出孔を有するように形成された連続膜である構成を採用したので、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ため、不連続な膜に起因したリーケや通電不良がなく、安定で高輝度の発光が担保されている。かかる効果は、ウェットエッティ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。

また、支持構造部は少なくとも反射層の一部を含むものであって、その側面が、ウェットエッティングによって形成され、上面から基板側に少なくとも反射層を越える位置まで延在する傾斜部を含み、該傾斜部を含む水平方向の断面積が上面に向かって連続的に小さく形成されてなる構成において、保護膜は、上面の少なくとも一部と、側面のうち少なくとも傾斜部と、傾斜側面と、頂面の周縁領域とを少なくとも覆う構成を採用したので、支持構造部の反射層の側面は保護膜で被覆されており、反射層の側面が大気や水分と接触して劣化することが防止され、高信頼性及び長寿命化が図られている。かかる効果は、ウェットエッティ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。

【0013】

本発明の発光ダイオードによれば、反射層がDBR反射層である構成を採用することにより、発光スペクトル線幅が狭い発光が可能となる。また、さらに、活性層の基板と反対側に上部DBR反射層を備えた構成を採用することにより、発光スペクトル線幅が狭く、出射光の指向性が高く、高速応答が可能となる。

【0014】

本発明の発光ダイオードによれば、反射層が金属からなる構成を採用することにより、発光層で発光した光を高い反射率で反射して高い光出力が可能となる。

【0015】

本発明の発光ダイオードによれば、傾斜部が二以上の傾斜部分からなり、各傾斜部分を含む水平方向の断面積はそれぞれ上面に向かって連続的に小さく、上面に近い傾斜部分を含む水平方向の断面積の方が上面に遠い傾斜部分を含む水平方向の断面積よりも小さい構成を採用することにより、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ため、不連続な膜に起因したリーケや通電不良がなく、安定で高輝度の発光が担保されている。

【0016】

本発明の発光ダイオードによれば、電極層及び/又は保護膜上に光漏れ防止膜を備えた構成を採用することにより、活性層で発光した光が電極層及び/又は保護膜を透過して素子外に漏れることを防止できる。

10

20

30

40

50

## 【0017】

本発明の発光ダイオードによれば、化合物半導体層が電極層に接触するコンタクト層を有する構成を採用することにより、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。

## 【0018】

本発明の発光ダイオードによれば、メサ型構造部は活性層のすべてと、反射層の一部または全部を含む構成を採用することにより、発光は全て、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。

## 【0019】

本発明の発光ダイオードによれば、メサ型構造部を平面視して矩形である構成を採用することにより、製造時のウェ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、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ている。 10

## 【0020】

本発明の発光ダイオードによれば、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フ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することにより、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ているため、均等なメサ形状・勾配が得られている。

## 【0021】

本発明の発光ダイオードによれば、メサ型構造部の高さが3～7μmであって、平面視した傾斜側面の幅が0.5～7μmである構成を採用することにより、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。 20

## 【0022】

本発明の発光ダイオードによれば、光射出孔が平面視して円形又は橢円である構成を採用することにより、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。

## 【0023】

本発明の発光ダイオードによれば、光射出孔の径が50～150μmである構成を採用することにより、50μm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一方、150μm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、注入電流に対する発光効率が低下するという問題が回避されている。 30

## 【0024】

本発明の発光ダイオードによれば、電極層の上面上の部分にボンディングワイヤを有する構成を採用することにより、十分な荷重（及び超音波）をかけられる上面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。

## 【0025】

本発明の発光ダイオードによれば、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することにより、単色性に優れた発光を行うことができる。 40

## 【0026】

本発明の発光ダイオードの製造方法によれば、化合物半導体層に第1のウェットエッチングを行って、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、支持構造部の上面とを形成する工程と、個片化用切断ラインに沿って第2のウェットエッチングを行って、支持構造部の側面の傾斜部を形成する工程と、傾斜部と上面の少なくとも一部とを覆うと共に、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、支持構造部及びメサ型構造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、前記上面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

構造部の頂面上に光射出孔を有するように、連続膜である電極層を形成する工程と、を有する構成を採用したので、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と共に、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、(第1の)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、(第1の)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つ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。

10

また、個片化用切断ラインに沿つて第2のウェットエッチングを行つて、支持構造部の側面の傾斜部を形成する工程と、傾斜部を覆う保護膜を形成する工程と、を有する構成を採用したので、側面が大気や水分と接触して劣化してしまうことが防止され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】

【0027】

【図1】本発明の一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】本発明の一実施形態である発光ダイオードの斜視図である。

【図3】本発明の一実施形態である発光ダイオードの傾斜斜面の断面を示す電子顕微鏡写真である。

20

【図4】本発明の一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5】本発明の他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6】本発明のさらに他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7】本発明の一実施形態である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8】本発明の一実施形態である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9】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10】本発明の一実施形態である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。

30

【図11】発光ダイオードの直上における光スペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図12】発光した光の指向性の測定結果を示すグラフである。

【図13】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】

【0028】

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、添付図面を参照して詳細に説明する。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、寸法等は一例であつて、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。

40

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。

【0029】

【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である共振器型発光ダイオード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基板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。

50

## 【0030】

図1に示す発光ダイオード100は、基板1上に反射層2と活性層3を含む化合物半導体層とを備えた発光ダイオードであって、上面6a及び側面6bを有する支持構造部6と、該支持構造部6上に配置し、傾斜側面7a及び頂面7bを有するメサ型構造部7とからなり、支持構造部6は少なくとも反射層2の一部を含むものであって、その側面6が、ウェットエッチングによって形成され、上面6aから基板1側に少なくとも反射層2を越える位置まで延在する傾斜部6baを含み、該傾斜部6baを含む水平方向の断面積が上面6aに向かって連続的に小さく形成されてなり、メサ型構造部7は少なくとも活性層3の一部を含むものであって、その傾斜側面7aがウェットエッチングによって形成されてなると共に、水平方向の断面積が頂面7bに向かって連続的に小さく形成されてなり、支持構造部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り、保護膜8は、上面6aの少なくとも一部と、側面6bのうち少なくとも傾斜部6baと、傾斜側面7aと、頂面7bの周縁領域7baとを少なくとも覆うとともに、平面視して周縁領域7baの内側に化合物半導体層(コンタクト層5)の表面の一部を露出する通電窓8bを有し、電極層9は、通電窓8b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、上面6a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上に光射出孔を有するように形成された連続膜であって、反射層2はD B R反射層(下部D B R反射層)であり、活性層3の基板1と反対側に上部D B R反射層4を備え、化合物半導体層は電極層9に接触するコンタクト層5を有するものである。

支持構造部6の側面6bは、傾斜部6ba(本実施形態では、反射層2の側面と基板1の側面とからなる)と、基板の側面の一部6bbとからなる。

支持構造部6の側面6bの傾斜部6ba上に保護膜を介して光漏れ防止膜24を備えている。

本実施形態のメサ型構造部7は、平面視して矩形であり、電極層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。

また、基板1の下面側には裏面電極10(図5参照)が形成される。

## 【0031】

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21(点線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、点線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することができる。

## 【0032】

メサ型構造部7は、上面6a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3の全層、上部D B R層4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、電極層(おもて面電極層)9が順に設けられている。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)とが設けられている。

## 【0033】

本発明のメサ型構造部7はその内部に少なくとも活性層3の一部を含むものである。

図1で示した例の場合、メサ型構造部7はその内部に、コンタクト層5と、上部D B R層4と、活性層3の全層とを含む。メサ型構造部7の内部には、活性層3の一部だけを含んでもよいが、活性層3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3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。また、メサ型構造部7の内部に下部D B R層2の一部を含んでもよい。

## 【0034】

また、メサ型構造部7は、その傾斜側面7aがウェットエッチングによって形成されて

10

20

30

40

50

なると共に、基板 1 側から頂面 7 b (上方)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 はウェットエッティングによって形成されたものなので、下に凸状に形成されてなる。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  $0.5 \sim 7 \mu\text{m}$  であるのが好ましい。この場合、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ティングを行うと、傾斜側面がオーバーハンギング形状(逆テーパ状)になりやすくなるので好ましくない。オーバーハンギング形状(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。

なお、本明細書において、高さ  $h$  とは、上面 6 a 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。

#### 【0035】

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、その層厚が  $3 \mu\text{m}$  である点以外は、後述する実施例と同様な構成である。

#### 【0036】

本発明のメサ型構造部はウェットエッティ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ティングではなく、ウェットエッティ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。

#### 【0037】

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ティングにおける異方性の影響でエッティ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。

#### 【0038】

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。上面 6 a 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り、メサ型構造部 7 をもう一方に寄せることにより、支持構造部 6 の上面 6 a 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。

#### 【0039】

支持構造部 6 は、メサ型構造部 7 の下部に配置する構造であり、上面 6 a 及び側面 6 b を外面として有する。その側面 6 b は、ウェットエッティングによって形成され、上面 6 a から基板 1 側に少なくとも反射層 2 を越える位置まで延在する傾斜部 6 b a を含む。支持構造部 6 は、この傾斜部 6 b a を含む水平方向の断面積は上面 6 a (上方)に向かって連続的に小さく形成されてなるものである。傾斜部 6 b a を除く側面を含む水平方向の断面積は変わらない。

#### 【0040】

傾斜部 6 b a は、その高さが  $7 \mu\text{m}$  を超えるまでウェットエッティングを行うと、オーバーハンギング形状(逆テーパ状)になりやすくなるので、 $7 \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。

#### 【0041】

傾斜部 6 b a は複数の傾斜部分からなってもよい。この場合、各傾斜部分を含む水平方

10

20

30

40

50

向の断面積はそれぞれ上面（上方）に向かって連続的に小さく、上面に近い（上方側の）傾斜部分を含む水平方向の断面積ほど大きくなるように、各傾斜部分を形成する。特に、メサ型構造部を形成する際と同様に、傾斜部 6 b a の高さが 7  $\mu\text{m}$  を超える場合には一つの傾斜部分をウェットエッティングで形成すると、オーバーハング形状（逆テーパ状）になりやすくなるので、7  $\mu\text{m}$  以下の複数の傾斜部分で傾斜部 6 b a を形成するのが好ましい。

また、ウェットエッティングによって傾斜部を深く（高く）形成すると、横方向にもエッティングが進むのでメサ型構造部が小さくなり発光面積が小さくなるという問題や、傾斜部において傾斜の角度が垂直に近い範囲が長くなるという問題や、エッティングの異方性の影響で平面視して縦と横のエッティング速度が異なるため一方向だけより深く形成されてしまうという問題もあるので、傾斜部を深く（高く）形成する場合には複数段の傾斜部分からなるのが好ましい。

#### 【0042】

上面 6 a 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、ワイヤボンディングが、メサ型構造部 7 ではなく、十分な荷重（及び超音波）をかけることが可能な、電極層の上面に位置する部分になされるので、接合強度の強いワイヤボンディングが実現できる。

#### 【0043】

上面 6 a の上には、保護膜 8 、電極層（おもて面電極層）9 が順に形成されており、上面 6 a の上の電極層 9 上にはボンディングワイヤ（図示せず）が取り付けられる。上面 6 a 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。図 1 で示した例の場合、メサ型構造部 7 の内部はコンタクト層 5 と、上部 D B R 層 4 と、活性層 3 の全層とを含み、活性層 3 の直下の層である下部 D B R 層の最上面が上面 6 a の保護膜 8 の直下に配置するので、上面 6 a の保護膜 8 の直下に配置する材料は下部 D B R 層の最上面の材料である。

#### 【0044】

保護膜 8 は、上面 6 a の少なくとも一部を覆う部分 8 c （メサ型構造部 7 を挟んで反対側の上面を覆う部分 8 c c ）も含む）と、側面 6 b のうち少なくとも傾斜部 6 b a を覆う部分 8 f と、傾斜側面 7 a を覆う部分 8 a と、頂面 7 b の周縁領域 7 b a を覆う部分 8 b a とを有し、平面視して周縁領域 7 b a の内側に化合物半導体層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を露出する。

保護膜 8 が側面 6 b のうち少なくとも傾斜部 6 b a を覆う部分 8 f を備え、支持構造部の反射層の側面を被覆しているので、反射層の側面が大気や水分と接触して劣化することが防止され、高信頼性及び長寿命化が図られている。

#### 【0045】

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、おもて面電極層 9 の下層に配置しておもて面電極層 9 と裏面電極 10 との間の電流が流れる領域を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層を形成し、その後、おもて面電極層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層を除去しなくとも裏面電極 10 との間に電流が流れることはない。裏面電極 10 との間の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。

#### 【0046】

保護膜 8 の第2の機能は、第1の機能と異なり、必須の機能ではないが、図 1 に示す保

10

20

30

40

50

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層 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 10 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。

#### 【 0 0 4 7 】

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が、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。 10

#### 【 0 0 4 8 】

また、保護膜 8 の膜厚は、0.3 ~ 1 μm が好ましい。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。

#### 【 0 0 4 9 】

電極層(おもて面電極層) 9 は、通電窓 8 b から露出された化合物半導体層の表面の少なくとも一部を覆う部分(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、保護膜 8 のうち上面 6 a 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、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。 20

#### 【 0 0 5 0 】

電極層(おもて面電極層) 9 の第1の機能は裏面電極 10 との間に電流を流すことあり、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。

#### 【 0 0 5 1 】

電極層 9 は上面 6 a 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が、ボンディングワイヤが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 2 1 には電極層を覆わないのが好ましい。 30

#### 【 0 0 5 2 】

この電極層 9 はメサ型構造部 7 の頂面 7 b においてコンタクト部分 9 b b でしかコンタクト層 5 に接触していないので、電極層 9 と裏面電極 10 とは、コンタクト部 9 b b と裏面電極 10 との間でしか電流が流れない。そのため、発光層 13 において平面視して光射出孔 9 b と重なる範囲に電流が集中し、その範囲に発光が集中するため、効率的に光を取り出すことができる。

#### 【 0 0 5 3 】

電極層 9 の材料としては公知の電極材料を用いることができるが、良好なオーミックコンタクトが得られることから、AuBe / Au が最も好ましい。

また、電極層 9 の膜厚は、0.5 ~ 2.0 μm が好ましい。0.5 μm 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、2.0 μm を超えるとコストがかかり過ぎるからである。 40

#### 【 0 0 5 4 】

光漏れ防止膜 2 4 は、活性層で発光した光が支持構造部 6 の側面 6 b の傾斜部 6 b a 上の保護膜 8 f を透過して素子外に漏れることを防止する。

図 1 で示す光漏れ防止膜 2 4 は、傾斜部 6 b a 上(保護膜 8 f を介して)及び上面 6 a の電極膜 9 c 上の一部にのみ備えられているが、さらに、支持構造部 6 の上面 6 a の他の 50

部分やメサ型構造部7上に形成されてもよい。

【0055】

光漏れ防止膜24の材料としては公知の反射材料を用いることができるが、電極層9と同時に形成可能であることから、AuBe/Auが好ましい。

【0056】

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。

【0057】

光射出孔9bの形状は、平面視して円形又は橢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。 10

【0058】

光射出孔9bの径は、50~150μmであるのが好ましい。50μm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、150μm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。

【0059】

基板1としては、例えば、GaAs基板を用いることができる。

【0060】

GaAs基板を用いる場合は、公知の製法で作製された市販品の単結晶基板を使用できる。GaAs基板のエピタキシャル成長させる表面は、平滑であることが望ましい。GaAs基板の表面の面方位は、エピ成長しやすく、量産されている(100)面および(100)から、±20°以内にオフした基板が、品質の安定性の面からのぞましい。さらに、GaAs基板の面方位の範囲が、(100)方向から(0-1-1)方向に15°オフ±5°であることがより好ましい。 20

【0061】

GaAs基板の転位密度は、下部DBR層2、活性層3及び上部DBR層4の結晶性を良くするために低い方が望ましい。具体的には、例えば、10,000個cm⁻²以下、望ましくは、1,000個cm⁻²以下であることが好適である。 30

【0062】

GaAs基板は、n型であってもp型であってもよい。GaAs基板のキャリア濃度は、所望の電気伝導度と素子構造から、適宜選択することができる。例えば、GaAs基板がSiドープのn型である場合には、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18}$ cm⁻³の範囲であることが好ましい。これに対して、GaAs基板がZnをドープしたp型の場合には、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19}$ cm⁻³の範囲であることが好ましい。

【0063】

GaAs基板の厚さは、基板のサイズに応じて適切な範囲がある。GaAs基板の厚さが適切な範囲よりも薄いと、化合物半導体層の製造プロセス中に割れてしまうおそれがある。一方、GaAs基板の厚さが適切な範囲よりも厚いと材料コストが増加することになる。このため、GaAs基板の基板サイズが大きい場合、例えば、直径75mmの場合には、ハンドリング時の割れを防止するために250~500μmの厚さが望ましい。同様に、直径50mmの場合は、200~400μmの厚さが望ましく、直径100mmの場合は、350~600μmの厚さが望ましい。 40

【0064】

このように、GaAs基板の基板サイズに応じて基板の厚さを厚くすることにより、活性層3に起因する化合物半導体層の反りを低減することができる。これにより、エピタキシャル成長中の温度分布が均一となることため、活性層3の面内の波長分布を小さくすることができる。なお、GaAs基板の形状は、特に円形に限定されず、矩形等であっても

10

20

30

40

50

問題ない。

【0065】

反射層（下部D B R層2）及び化合物半導体層（活性層3、上部D B R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。

【0066】

基板1上に形成される反射層（下部D B R層）及び化合物半導体層は、下部D B R層2、活性層3及び上部D B R層4が順次積層されて構成されている。

【0067】

D B R (Distributed Bragg Reflector)層は、 $/ (4n)$ の膜厚で（：反射すべき光の真空中での波長、n：層材料の屈折率）、屈折率が異なる2種類の層を交互に積層した多層膜からなるものである。反射率は2種類の屈折率の差が大きいと、比較的少ない層数の多層膜で高反射率が得られる。通常の反射膜のようにある面で反射されるのではなく、多層膜の全体として光の干渉現象に基づき反射が起きることが特徴である。

D B R層の材料は発光波長に対して透明であることが好ましく、又、D B R層を構成する2種類の材料の屈折率の差が大きくなる組み合わせとなるよう選択されるのが好ましい。

【0068】

下部D B R層2は、屈折率の異なる2種類の層が交互に10～50対積層されてなるのが好ましい。10対以下である場合は反射率が低すぎるために出力の増大に寄与せず、50対以上にしてもさらなる反射率の増大は小さいからである。

下部D B R層2を構成する屈折率の異なる2種類の層は、組成の異なる2種類の( $A_{1x_h}Ga_{1-x_h})_{Y_3In_{1-Y_3}P$  ( $0 < X_h < 1$ 、 $Y_3 = 0.5$ )、( $A_{1x_1}Ga_{1-x_1})_{Y_3In_{1-Y_3}P$  ;  $0 < X_1 < 1$ 、 $Y_3 = 0.5$ )の対であり、両者のA1の組成差 $X = x_h - x_1$ が0.5より大きいか又は等しくなる組み合わせか、又は、 $GaInP$ と $A_1InP$ の組み合わせか、又は、組成の異なる2種類の $A_{1x_1}Ga_{1-x_1}As$  ( $0.1 < X_1 < 1$ )、 $A_{1x_h}Ga_{1-x_h}As$  ( $0.1 < X_h < 1$ )の対であり、両者の組成差 $X = x_h - x_1$ が0.5より大きいか等しくなる組み合わせかのいずれかから選択されるのが効率よく高い反射率が得られることから望ましい。

組成の異なる $A_1GaInP$ の組み合わせは、結晶欠陥を生じやすい $As$ を含まないので好ましく、 $GaInP$ と $A_1InP$ はその中で屈折率差を最も大きくとれるので、反射層の数を少なくすることができ、組成の切り替えも単純であるので好ましい。また、 $A_1GaAs$ は、大きな屈折率差をとりやすいという利点がある。

【0069】

上部D B R層4も、下部D B R層2と同様の層構造を用いることができるが、上部D B R層4を透過させて光を射出する必要があるので、下部D B R層2よりも反射率が低くなるように構成する。具体的には、下部D B R層2と同じ材料からなる場合、下部D B R層2よりも層数が少なくなるように、屈折率の異なる2種類の層が交互に3～10対積層されてなるのが好ましい。2対以下である場合は反射率が低すぎるために出力の増大に寄与せず、11対以上にすると上部D B R層4を透過する光量が低下しすぎるからである。

【0070】

本発明の発光ダイオードは、活性層3を低反射率の上部D B R層4と高反射率の下部D B R層2で挟み、活性層3で発光した光が上部D B R層4と下部D B R層2と間で共振して定在波の腹が発光層に位置させる構成をとることにより、レーザ発振させないで、従来の発光ダイオードよりも指向性が高く、高効率の発光ダイオードとなっている。

【0071】

図4に示すように、活性層3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3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

10

20

30

40

50

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。

【0072】

図4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、量子井戸構造を構成することができる。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。

【0073】

発光層13の層厚は、 $0.02 \sim 2 \mu\text{m}$ 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。

【0074】

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。

【0075】

井戸層17の層厚は、 $3 \sim 30 \text{ nm}$ の範囲が好適である。より好ましくは、 $3 \sim 10 \text{ nm}$ の範囲である。

【0076】

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。

【0077】

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。

【0078】

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し、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。

【0079】

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、活性層11には、井戸層17が $2 \sim 40$ 層含まれていることが好ましい。ここで、活性層11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。

【0080】

下部ガイド層12及び上部ガイド層14は、図4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。

10

20

30

40

50

## 【0081】

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、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。

## 【0082】

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( $Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{y_1}In_{1-y_1}P$  ( $0 < X_1 < 1$ ,  $0 < Y_1 < 1$ )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( $Al_{x_4}Ga_{1-x_4})_{y_1}In_{1-y_1}P$  ( $0 < X_4 < 1$ ,  $0 < Y_1 < 1$ ,  $X_1 < X_4$ )または井戸層( $Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{y_1}In_{1-y_1}P$  ( $0 < X_1 < 1$ ,  $0 < Y_1 < 1$ )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。

## 【0083】

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と活性層11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10nm以上が好ましく、20nm~100nmがより好ましい。

## 【0084】

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。

## 【0085】

下部クラッド層11及び上部クラッド層15は、図4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。

## 【0086】

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、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。

## 【0087】

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( $Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{y_1}In_{1-y_1}P$  ( $0 < X_1 < 1$ ,  $0 < Y_1 < 1$ )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( $Al_{x_4}Ga_{1-x_4})_{y_1}In_{1-y_1}P$  ( $0 < X_4 < 1$ ,  $0 < Y_1 < 1$ ,  $X_1 < X_4$ )または井戸層( $Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{y_1}In_{1-y_1}P$  ( $0 < X_1 < 1$ ,  $0 < Y_1 < 1$ )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。

## 【0088】

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、活性層11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。

10

20

30

40

50

## 【0089】

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16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。

## 【0090】

10

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。

## 【0091】

## 〔発光ダイオード（第2の実施形態）〕

図5に、本発明を適用した発光ダイオードの一例である共振器型発光ダイオードの他の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が、第2の実施形態は、光射出孔の下に保護膜を有さず、保護膜を介さずに光射出孔9bから直接、光を取り出す構成である。

20

すなわち、第2の実施形態に係る共振器型発光ダイオード200では、保護膜28は、上面6aの少なくとも一部28cと、側面6bのうち少なくとも傾斜部6baと、傾斜側面7aと、頂面7bの周縁領域7baとを少なくとも覆うとともに、平面視して周縁領域7baの内側に前記化合物半導体層（コンタクト層5）の表面の一部を露出する通電窓28bを有し、電極層29は、通電窓28bから露出された化合物半導体層の表面の少なくとも一部と前記上面6aの一部とを少なくとも覆うと共に、メサ型構造部7の頂面において通電窓28bから露出する化合物半導体層（コンタクト層5）の表面の一部だけを覆って化合物半導体層（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を有するように、保護膜28上に形成された連続膜である。

30

## 【0092】

図5に示すように、第2の実施形態の保護膜28は、上面6aの少なくとも一部を覆う部分28c（メサ型構造部7を挟んで反対側の上面を覆う部分28cc）も含む）と、側面6bのうち少なくとも傾斜部6baを覆う部分28fと、傾斜側面7aを覆う部分28aと、頂面7bの周縁領域7baを覆う部分28baとを有し、平面視して周縁領域7baの内側に化合物半導体層（コンタクト層5）の表面の一部を露出する通電窓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において化合物半導体層（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28の上に電極層（おもて面電極層）29が形成されているが、この電極層29と裏面電極10との間において電流を流さない部分に保護膜28が形成されている。

40

保護膜28が側面6bのうち少なくとも傾斜部6baを覆う部分28fを備え、支持構造部の反射層の側面を被覆しているので、反射層の側面が大気や水分と接触して劣化することが防止され、高信頼性及び長寿命化が図られている。

## 【0093】

また、図5に示すように、第2の実施形態の電極層（おもて面電極層）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のうち上面6a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の部分を覆う部分29baと、メサ型構造部7の頂面7b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を開口するように化合物半導体層（コンタクト層5）を覆う部分29bbとからなる。

50

第2の実施形態の電極層(おもて面電極層)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。

【0094】

〔発光ダイオード(第3の実施形態)〕

本発明を適用した第3の実施形態の発光ダイオードは、第1の実施形態の発光ダイオードと比較すると、上部DBR反射層がなく、その替わりに電流拡散層を備えた点が異なる。

【0095】

図6に、第3の実施形態に係る発光ダイオード300の一例の断面模式図を示す。

図6に示すように、発光ダイオード300は、活性層3上に電流拡散層40を備えた構成である。

【0096】

本実施形態では、電流拡散層40の材料としては例えば、AlGaAs等を用いることができる。

電流拡散層40の厚さとしては、0.1μm以上10μm以下であることが好ましい。0.1μm未満では電流拡散効果が不十分だからであり、10μmを超えると効果に対しエピタキシャル成長に係わるコストが大きすぎるからである。

【0097】

図6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。この光漏れ防止膜16は本発明の他の実施形態においても備えることができる。

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。電極層9と同じAuBe/Auでもよい。

【0098】

〔発光ダイオードの製造方法(第1の実施形態)〕

次に、本発明の発光ダイオードの製造方法の一実施形態として、第1の実施形態の発光ダイオード(共振器型発光ダイオード)の製造方法を説明する。

図7は、発光ダイオードの製造方法の一工程を示す断面模式図である。また、図8は、図7の後の一工程を示す断面模式図である。

【0099】

(化合物半導体層の形成工程)

まず、図7に示す化合物半導体層20を作製する。

化合物半導体層20は、基板1上に、下部DBR層2と、活性層3と、上部DBR層4と、コンタクト層5とを順次積層して作製する。

【0100】

基板1と下部DBR層2との間に、緩衝層(バッファ)を設けてもよい。緩衝層は、基板1と活性層3の構成層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、基板の品質やエピタキシャル成長条件を選択すれば、緩衝層は、必ずしも必要ではない。また、緩衝層の材質は、エピタキシャル成長させる基板と同じ材質とすることが好ましい。緩衝層には、欠陥の伝搬を低減するために基板と異なる材質からなる多層膜を用いることもできる。緩衝層の厚さは、0.1μm以上とすることが好ましく、0.2μm以上とすることがより好ましい。

【0101】

本実施形態では、分子線エピタキシャル法(MBE)や減圧有機金属化学気相堆積法(MOCVD法)等の公知の成長方法を適用することができる。なかでも、量産性に優れるMOCVD法を適用することが、最も望ましい。具体的には、化合物半導体層のエピタキシャル成長に使用する基板1は、成長前に洗浄工程や熱処理等の前処理を実施して、表面の汚染や自然酸化膜を除去することが望ましい。上記化合物半導体層を構成する各層は、直径50~150mmの基板1をMOCVD装置内にセットし、同時にエピタキシャル成長させて積層することができる。また、MOCVD装置としては、自公転型、高速回転型

10

20

30

40

50

等の市販の大型装置を適用することができる。

【0102】

上記化合物半導体層20の各層をエピタキシャル成長する際、I II 族構成元素の原料としては、例えば、トリメチルアルミニウム( $(CH_3)_3Al$ )、トリメチルガリウム( $(CH_3)_3Ga$ )及びトリメチルインジウム( $(CH_3)_3In$ )を用いることができる。また、Mgのドーピング原料としては、例えば、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(bis- $(C_5H_5)_2Mg$ )等を用いることができる。また、Siのドーピング原料としては、例えば、ジシラン( $Si_2H_6$ )等を用いることができる。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( $AsH_3$ )等を用いることができる。

10

さらに、各層のキャリア濃度及び層厚、温度条件は、適宜選択することができる。

【0103】

このようにして作製した化合物半導体層は、活性層3を有するにもかかわらず結晶欠陥が少ない良好な表面状態が得られる。また、化合物半導体層20は、素子構造に対応して研磨などの表面加工を施しても良い。

【0104】

(裏面電極の形成工程)

次に、図6に示すように、基板1の裏面に、裏面電極10を形成する。

具体的には、例えば、基板がn型基板である場合には、蒸着法により、例えば、Au、 $AuGe$ を順に積層してn型オーミック電極の裏面電極10を形成する。

20

【0105】

(メサ型構造部の形成工程)

次に、化合物半導体層に第1のウェットエッチングを行って、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(保護膜及び電極膜を除く)と、該メサ型構造部の周囲に配置する、支持構造部の上面とを形成する。

具体的には、まず、図7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レジストを堆積し、フォトリソグラフィによりメサ型構造部以外に開口23aを有するレジストパターン23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 $10\mu m$ 程度大きめに形成するのが好ましい。

30

【0106】

次いで、例えば、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種以上のエッチャントを用いて第1のウェットエッチングを行う。

例えば、 $H_3PO_4 : H_2O_2 : H_2O = 1 \sim 3 : 4 \sim 6 : 8 \sim 10$ のリン酸/過酸化水素水混合液を用いて、ウェットエッチング時間を30~60秒間として、メサ型構造部以外の部分のコンタクト層と上部DBR層と活性層の少なくとも一部、又は、コンタクト層と上部DBR層と活性層と下部DBR層の少なくとも一部を除去する。

その後、レジストを除去する。

【0107】

メサ型構造部の平面視形状はレジストパターン23の開口23aの形状によって決まる。レジストパターン23に所望の平面視形状に対応する形状の開口23aを形成する。

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

【0108】

図9に、 $H_3PO_4 : H_2O_2 : H_2O = 2 : 5 : 9 (100 : 250 : 450)$ 、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ャングを行った場合のエッチャ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。

【0109】

40

50

## 【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   |

10

## 【0110】

図9及び表1から、エッティング深さ(図1の「h」に相当)はエッティング時間(sec)にはほぼ比例するが、エッティング幅はエッティ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3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。このエッティング形状はドライエッティングによるエッティ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ティングで形成されたのか、又は、ウェットエッティングで形成されたのかを判別することができる。

20

## 【0111】

第1のウェットエッティングにより、ウェハ基板のメサ型構造部を除いた部分(ストリート及び支持構造部)は同程度の高さとなっている。

## 【0112】

## (支持構造部の傾斜部の形成工程)

次に、個片化用切断ライン(図2の点線22)に沿って第2のウェットエッティングを行って、支持構造部6の側面6aの傾斜部6baを形成する。

具体的には、まず、ウェハ基板の全面にフォトレジストを堆積し、フォトリソグラフィにより、ストリート21と支持構造部6の上面6aの外周から所定距離d(図2参照)の範囲とに開口を有するレジストパターンを形成する。

30

## 【0113】

次いで、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、プロムメタノール混合液の群から選択される少なくとも1種以上のエッチャントを用いて第2のウェットエッティングを行う。

例えば、 $H_3PO_4 : H_2O_2 : H_2O = 1 \sim 3 : 4 \sim 6 : 8 \sim 10$ のリン酸/過酸化水素水混合液を用いて、ウェットエッティング時間を30~60秒間として、支持構造部6の側面6aの傾斜部6baを形成する。

その後、レジストを除去する。

## 【0114】

40

傾斜部6baの傾斜角度や長さ、深さは、エッチャントの種類及びエッティング時間によって決まる。

## 【0115】

## (保護膜の形成工程)

次に、上面6aの少なくとも一部と、側面6bのうち少なくとも傾斜部6baと、傾斜側面7aと、頂面7bの周縁領域7baとを少なくとも覆うとともに、平面視して周縁領域7baの内側に化合物半導体層(コンタクト層5)の表面の一部を露出する通電窓8bを有する保護膜8を形成する。

具体的には、まず、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。

50

次に、全面にフォトレジストを堆積し、フォトリソグラフィにより、上面 6 a と、傾斜部 6 b a と、傾斜側面 7 a と、頂面 7 b の周縁領域 7 b a 以外の部分と、化合物半導体層の表面の一部を露出する通電窓 8 b に対応する部分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、開口に対応する部分の保護膜の材料を除去して保護膜 8 を形成する。

図 10 に、保護膜 8 の通電窓 8 b 近傍の平面図を示す。 $d_{in}$  と  $d_{out}$  との間に保護膜 8 がない通電窓 8 b となっている。

その後、レジストを除去する。

#### 【0116】

10

##### (おもて面電極層および光漏れ防止層の形成工程)

次に、通電窓 8 b から露出された化合物半導体層（コンタクト層 5）の表面の少なくとも一部と上面の一部とを少なくとも覆うと共にメサ型構造部 7 の頂面上に光射出孔 9 b を有するように、保護膜 8 上に形成された連続膜であるおもて面電極層（電極層）9 および光漏れ防止層 24 を形成する。

具体的には、全面にフォトレジストを堆積し、フォトリソグラフィにより、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、電極層材料（光漏れ防止膜も電極層材料で形成する）を蒸着する。この蒸着だけではメサ型構造部の傾斜側面及び支持構造部の傾斜部に電極層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及び支持構造部の傾斜部に電極層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。

#### 【0117】

20

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。

#### 【0118】

##### (個片化工程)

30

次に、ウェハ基板上の発光ダイオードを個片化して発光ダイオード（チップ）を作製した。

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。

#### 【0119】

##### 〔発光ダイオード（第2の実施形態）の製造方法〕

本発明の発光ダイオード（第2の実施形態）は、発光ダイオード（第1の実施形態）と保護膜及び電極の配置構成が異なるだけであり、その製造方法は発光ダイオード（第1の実施形態）の製造方法と同様に行うことができる。

#### 【0120】

##### 〔発光ダイオード（第3の実施形態）の製造方法〕

40

本発明の発光ダイオード（第3の実施形態）の製造方法において、発光ダイオード（第1の実施形態）の製造方法と異なる点は、化合物半導体層の形成工程で、基板 1 上に、下部 DBR 層 2 と、活性層 3 とを積層した後、活性層 3 上に電流拡散層 40 を積層する点であり、その他は発光ダイオード（第1の実施形態）の製造方法と同様に行うことができる。

#### 【0121】

本発明の第1のウェットエッチング及び第2の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、AlGaAs 等の As 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

50

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、プロムメタノール混合液は P 系に適している。

そのため、各ウェットエッチングにおいて、複数のエッチャントを用いて行うことができる。

例えば、化合物半導体層が最上層から順に、AlGaAs からなる電流拡散層、AlGaInP からなるクラッド層、AlGaAs からなる発光層、AlGaInP からなるクラッド層で構成される場合、As 系の電流拡散層及び発光層はアンモニア系エッチャントを用い、P 系のクラッド層はヨウ素系エッチャントを用いることができる。この場合、エッチングしている層の下の層は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必要がない。

また、例えば、As 系のみで形成されている構造では磷酸混合液、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。

#### 【0122】

ヨウ素(I) 500cc、ヨウ化カリウム(KI) 100g、純水(H<sub>2</sub>O) 2000cc、水酸化アンモニア水(NH<sub>4</sub>OH) 90cc の比率で混合されたエッチャントを用いた場合、AlGaInP からなる層のエッチング速度は 0.72 μm/min だった。

#### 【実施例】

#### 【0123】

以下に、本発明の発光ダイオード及びその製造方法を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、図1に示した共振器型の発光ダイオードチップを作製し、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。

#### 【0124】

#### (実施例)

実施例の発光ダイオードは、まず、Si をドープした 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エピタキシャルウェハを作製した。GaAs 基板は、(100) 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 250 μm とした。化合物半導体層とは、Si をドープした GaAs からなる n 型の緩衝層、Si をドープした Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As と Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As の 40 対の繰り返し構造である n 型の下部 DBR 反射層、Si をドープした Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As からなる n 型の下部クラッド層、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As からなる下部ガイド層、GaAs / Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>As の 3 対からなる井戸層 / バリア層、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As からなる上部ガイド層、C をドープした Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As からなる p 型の上部クラッド層、C をドープした Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As と Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As の 5 対の繰り返し構造である p 型の上部 DBR 反射層、C ドープした p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As からなるコンタクト層である。

#### 【0125】

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 50 mm、厚さ 250 μm 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((CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Al)、トリメチルガリウム((CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Ga) 及びトリメチルインジウム((CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>In) を使用した。また、C のドーピング原料としては、テトラブロモメタン(CBr<sub>4</sub>) 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<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 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<sub>3</sub>)、アルシン(AsH<sub>3</sub>) を使用した。また、各層の成長温度としては、700 で成長させた。

#### 【0126】

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

10

20

30

40

50

$\mu\text{m}$ とした。下部D B R反射層はキャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約54nmとした $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ と、キャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約51nmとした $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ を交互に40対積層した。下部クラッド層は、キャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約54nmとした。下部ガイド層は、アンドープで層厚を約50nmとした。井戸層は、アンドープで層厚が約7nmの $\text{GaAs}$ とし、バリア層はアンドープで層厚が約7nmの $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ とした。また、井戸層とバリア層とを交互に3対積層した。上部ガイド層は、アンドープで層厚を約50nm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54nmとした。また、上部D B R反射層はキャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約54nmとした $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ と、キャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約51nmとした $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ を交互に5対積層した。  
 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ からなるコンタクト層は、キャリア濃度を約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約250nmとした。

#### 【0127】

次に、裏面電極として基板裏面に、 $\text{AuGe}$ 、 $\text{Ni}$ 合金を厚さが0.5 $\mu\text{m}$ 、 $\text{Pt}$ を0.2 $\mu\text{m}$ 、 $\text{Au}$ を1 $\mu\text{m}$ となるように真空蒸着法によって成膜し、n型オーミック電極を形成した。

#### 【0128】

次に、メサ型構造部を形成するため、パターニングしたレジスト(AZ5200NJ(クラリアント社製))を用い、 $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 5 : 9$ のリン酸/過酸化水素水混合液を使って、45秒間、第1のウェットエッチングを行って、メサ型構造部及び上面を形成した。このウェットエッチングによって、コンタクト層、上部D B R反射層及び活性層の全層を除去して、頂面の大きさが190 $\mu\text{m} \times$ 190 $\mu\text{m}$ 、高さ $h$ が4 $\mu\text{m}$ 、幅 $w$ が3 $\mu\text{m}$ の平面視矩形のメサ型構造部(保護膜及び電極膜を除く)を形成した。

#### 【0129】

次に、支持構造部の傾斜部を形成するために、ストリート21と支持構造部6の上面6aの外周から所定距離 $d$ を20 $\mu\text{m}$ とする範囲とに開口を有するようにパターニングしたレジスト(AZ5200NJ(クラリアント社製))を用い、 $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 5 : 9$ のリン酸/過酸化水素水混合液を使って、45秒間、第2のウェットエッチングを行った。これにより、幅4 $\mu\text{m}$ 、深さ3 $\mu\text{m}$ の傾斜部を形成した。

#### 【0130】

次に、保護膜を形成するため、 $\text{SiO}_2$ 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(AZ5200NJ(クラリアント社製))によるパターニング後、バッファードフッ酸を用いて、平面視同心円形(外径 $d_{\text{out}} : 166\mu\text{m}$ 、内径 $d_{\text{in}} : 154\mu\text{m}$ )の開口(図10参照)と、ストリート部及び支持構造部6の上面6aの外周から所定距離 $d$ の範囲の開口とを形成した。

#### 【0131】

次に、おもて面電極(膜)及び支持構造部の傾斜部の光漏れ防止膜24を形成するため、レジスト(AZ5200NJ(クラリアント社製))によるパターニング後、 $\text{Au}$ を1.2 $\mu\text{m}$ 、 $\text{AuBe}$ を0.15 $\mu\text{m}$ を順に蒸着し、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(p型オーミック電極)及び支持構造部の傾斜部の光漏れ防止膜24を形成した。

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

#### 【0132】

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(AZ5200NJ(クラリアント社製))によるパターニング後、 $\text{Ti}$ を0.5 $\mu\text{m}$ 、 $\text{Au}$ 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。

## 【0133】

次に、化合物半導体層側からダイシングソーを用いストリート部で切斷し、チップ化した。ダイシングによる破碎層および汚れを硫酸・過酸化水素混合液でエッティング除去して、実施例の発光ダイオードを作製した。

## 【0134】

上記の様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。

## 【0135】

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）では、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850nm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<sub>F</sub>）は1.6Vであった。順方向電流を20mAとした際の発光出力は1.5mWであった。また、応答速度（立ち上がり時間：T<sub>r</sub>）は12.1nsecだった。

## 【0136】

図11は、第2のウェットエッティングを行わず、傾斜部6baを有さない（従って、傾斜部6ba上の保護膜8f及び光漏れ防止膜24も有さない）点を除いて実施例と同じ構成の発光ダイオードの直上における光スペクトル（グラフ右の摸式図参照）の測定結果を示すグラフである。縦軸は光の強度、横軸は波長を示す。

図11に示すように、この発光ダイオードでは、発光スペクトルの線幅が狭く（単色性が高く）、半値幅（HWHM）は6.3nmであった。

この発光ダイオードは本発明に係る発光ダイオードではないが、図11で示した発光光の高い単色性は、傾斜部6baの有無に関わらず奏する効果であると考えられるので、本発明の発光ダイオードについても同様の高い単色性を有するものと考えられる。

## 【0137】

図12は、図11でその特性を示した発光ダイオードについて、発光した光の指向性（グラフ右の摸式図参照）の測定結果を示すグラフである。グラフ中の横軸の「-1」から「1」につながる円周は光の強度（Int.）として13000を示すものである。従つて、例えば、ある方向で光の強度が6500の場合には、その方向では横軸の「-0.5」から「0.5」につながる円周上にグラフがくることになる。また、例えば、実施例の発光ダイオードでは、真上（90°）から±10°の方向では約「-0.9」から「0.9」につながる円周（図示なし）上にグラフがあるので、その範囲では光の強度は1300の90%程度であることがわかる。

図12に示すように、この発光ダイオードでは、光射出孔の直上から±15°程度の範囲に高い強度（13000の70%程度以上）を有しており、高い指向性を示した。

この発光ダイオードは本発明に係る発光ダイオードではないが、図12で示した発光光の高い指向性は、傾斜部6baの有無に関わらず奏する効果であると考えられるので、本発明の発光ダイオードについても同様の高い指向性を有するものと考えられる。

## 【0138】

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。また、発光ダイオードの側面が保護膜で覆われてあり、発光ダイオードランプの特性からも大気や大気中の水分との接触による側面の劣化が防止されていたことが確認できた。

## 【0139】

## （比較例）

液相エピタキシャル法で、厚膜成長し、基板除去した構造の波長850nmの発光ダイオードの例を示す。

GaAs基板に、スライドポート型成長装置を用いてAlGaAs層を成長した。

10

20

30

40

50

スライドポート型成長装置の基板収納溝にp型GaAs基板をセットし、各層の成長用に用意したルツボにGaメタル、GaAs多結晶、金属Al、及びドーパントを入れた。成長する層は、透明厚膜層（第1のp型層）、下部クラッド層（p型クラッド層）、活性層、上部クラッド層（n型クラッド層）の4層構造とし、この順序で積層した。

これらの原料をセットしたスライドポート型成長装置を、石英反応管内にセットし、水素気流中で950まで加温し、原料を溶解した後、雰囲気温度を910まで降温し、スライダーを右側に押して原料溶液（メルト）に接触させたあと0.5/分の速度で降温し、所定温度に達した後、またスライダーを押して順次各原料溶液に接触させたあと高温させる動作を繰り返し、最終的にはメルトと接触させた後、雰囲気温度を703まで降温してnクラッド層を成長させた後、スライダーを押して原料溶液とウェハを切り離してエピタキシャル成長を終了させた。

#### 【0140】

得られたエピタキシャル層の構造は、第1のp型層は、Al組成X1=0.3~0.4、層厚64μm、キャリア濃度 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、p型クラッド層は、Al組成X2=0.4~0.5、層厚79μm、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、p型活性層は、発光波長が760nmの組成で、層厚1μm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、n型クラッド層は、Al組成X4=0.4~0.5、層厚25μm、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、であった。

#### 【0141】

エピタキシャル成長終了後、エピタキシャル基板を取り出し、n型AlGaAsクラッド層表面を保護して、アンモニア-過酸化水素系エッチャントでp型GaAs基板を選択的に除去した。その後、エピタキシャルウェハ両面に金電極を形成し、長辺が350μmの電極マスクを用いて、直径100μmのワイヤボンディング用パッドを中央に配置された表面電極を形成した。裏面電極には、直径20μmのオーミック電極を80μm間隔に形成した。その後、ダイシングで分離、エッチングすることにより、n型AlGaAs層が表面側となるようにした350μm角の発光ダイオードを作製した。

#### 【0142】

比較例の発光ダイオードの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850nm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(VF)は1.9Vであった。順方向電流を20mAとした際の発光出力は5.0mWであった。また、応答速度(Tr)は15.6nsecであり、本発明の実施例に比べて遅かった。

#### 【0143】

図10に示すように、比較例の発光ダイオードでは、発光スペクトルの線幅が広く、半値幅(HWHM)は42nmであった。

#### 【0144】

図11に示すように、比較例の発光ダイオードでは、発光ダイオードを中心として半球状に光を13000の20%程度以下の強度の光を発光しており、指向性は実施例に比較してかなり低かった。

#### 【符号の説明】

#### 【0145】

- 1 基板
- 2 下部DBR層（反射層）
- 3 活性層
- 4 上部DBR層
- 5 コンタクト層
- 6 支持構造部
  - 6 a 上面
  - 6 b 側面
  - 6 b a 傾斜部

10

20

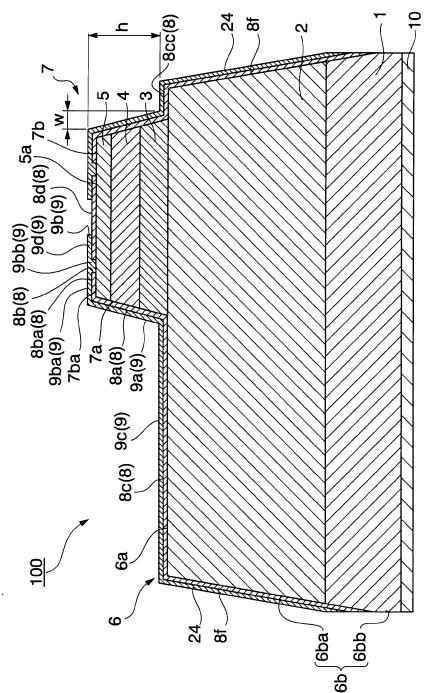
30

40

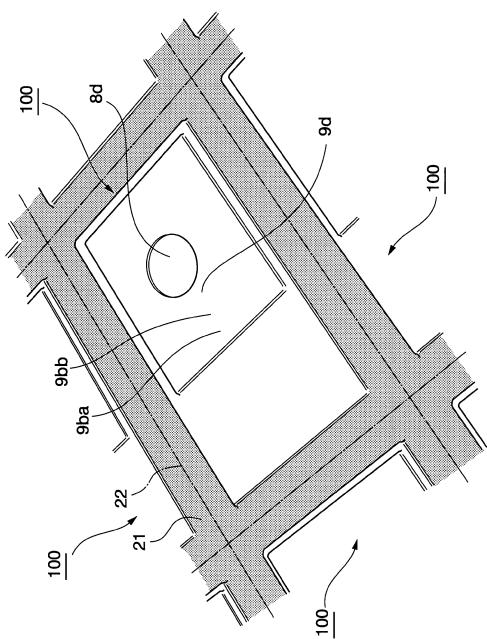
50

|                 |    |
|-----------------|----|
| 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、28 保護膜        |    |
| 8b、28b 通電窓      |    |
| 9、29 電極膜        |    |
| 9b 光射出孔         |    |
| 11 下部クラッド層      | 10 |
| 12 下部ガイド層       |    |
| 13 発光層          |    |
| 14 上部ガイド層       |    |
| 15 上部クラッド層      |    |
| 16 光漏れ防止膜       |    |
| 20 化合物半導体層      |    |
| 21 ストリート        |    |
| 23 レジストパターン     |    |
| 24 光漏れ防止膜       |    |
| 40 電流拡散層        |    |
| 100、200 発光ダイオード | 20 |

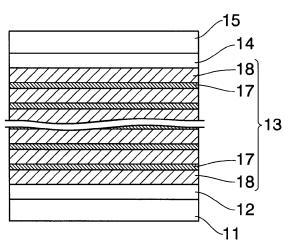
【図1】



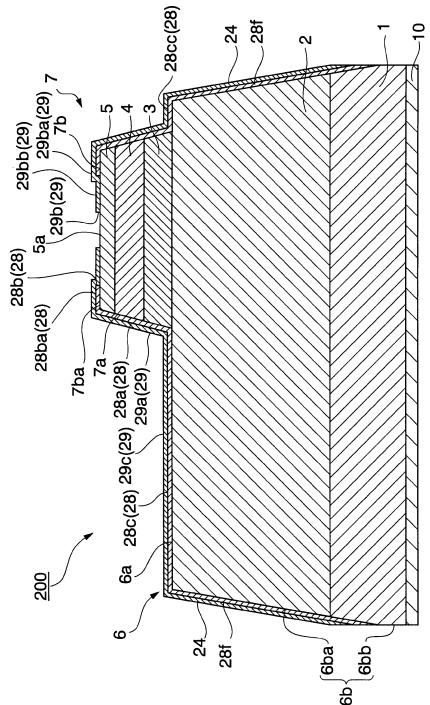
【図2】



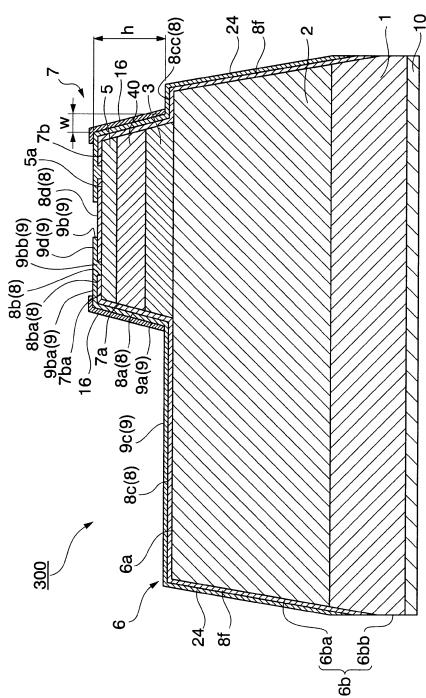
【 図 4 】



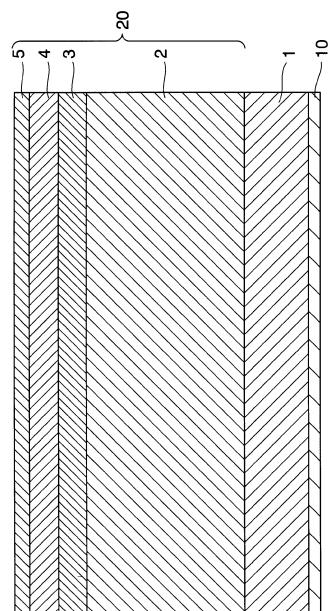
【 四 5 】



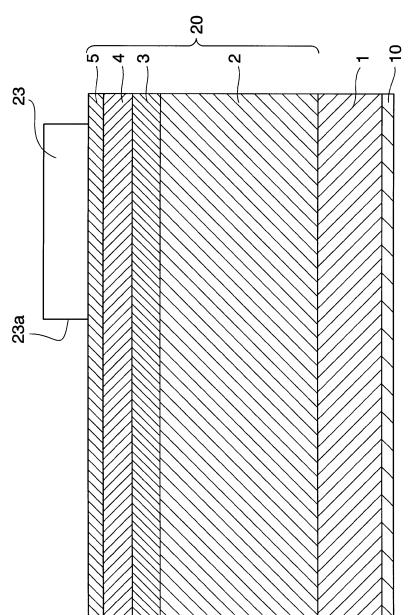
【図6】



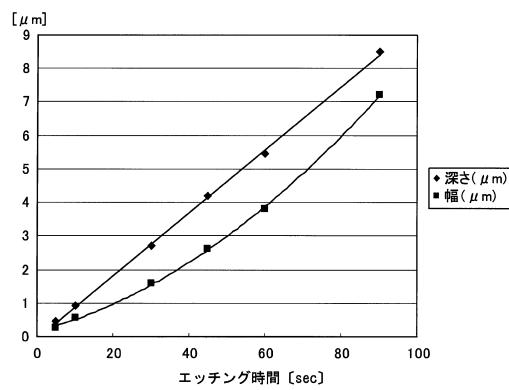
【 図 7 】



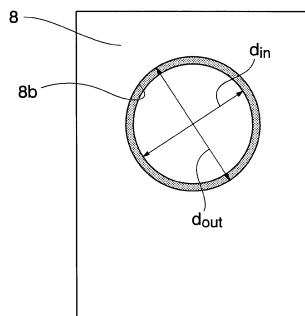
【図 8】



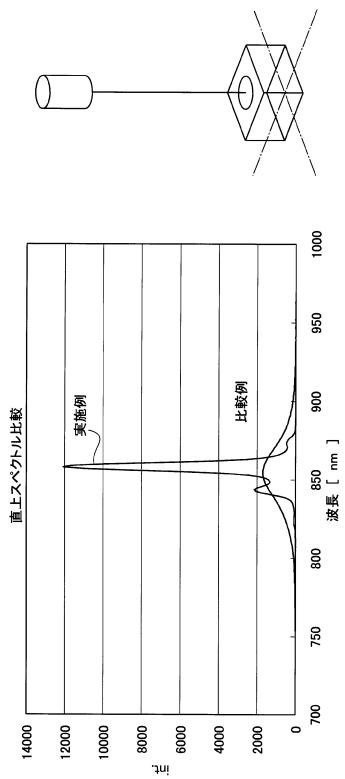
【図 9】



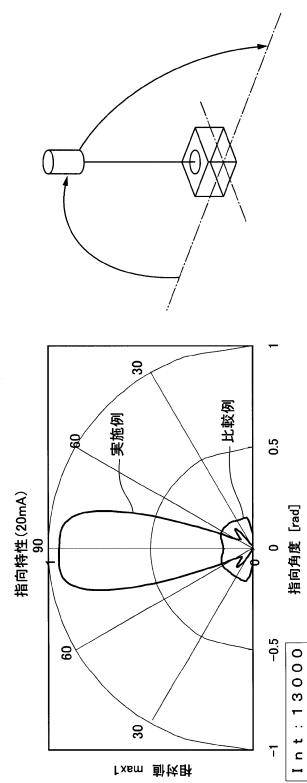
【図 10】



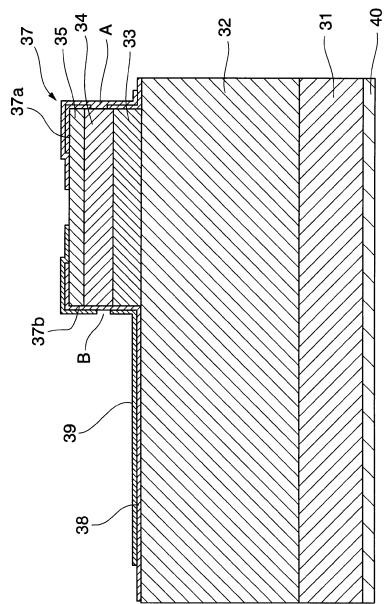
【図 11】



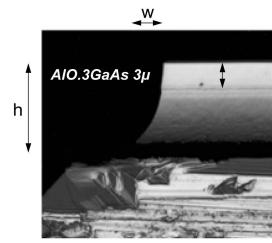
【図 12】



【図13】



【図3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 粟飯原 範行  
埼玉県秩父市下影森1505番地 昭和電工株式会社内

(72)発明者 村木 典孝  
埼玉県秩父市下影森1505番地 昭和電工株式会社内

審査官 吉野 三寛

(56)参考文献 特開平09-283862 (JP, A)  
特開2002-289920 (JP, A)  
特開2011-124314 (JP, A)  
特開2011-139037 (JP, A)  
特開2006-302919 (JP, A)

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