

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2013 年 6 月 13 日 (13.06.2013)

W O P O I P C T



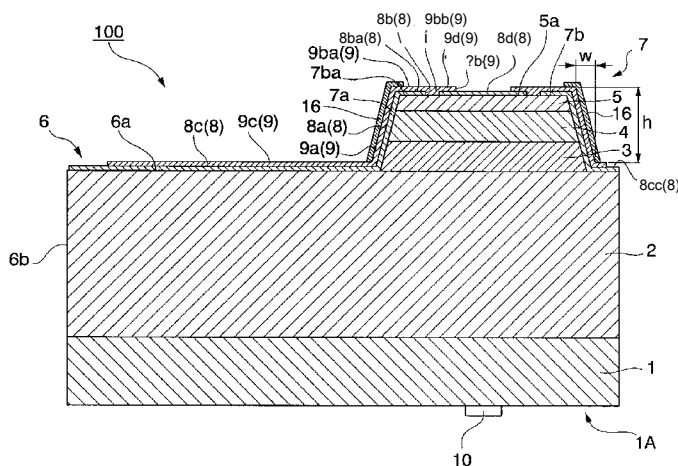
(10) 国際公開番号

W O 2013/084867 A 1

- (51) 国際特許分類：
H01L 33/20 (2010.01) H01L 33/30 (2010.01)
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/38 (2010.01)
H01L 33/10 (2010.01)
- (21) 国際出願番号： PCT/JP20 12/08 1342
- (22) 国際出願日： 2012 年 12 月 4 日 (04.12.2012)
- (25) 国際出願の言語： 日本語
- (26) 国際公開の言語： 日本語
- (30) 優先権データ：
特願 201 1-265981 201 1 年 12 月 5 日 (05.12.201 1) JP
- (71) 出願人：昭和電工株式会社 (SHOWA DENKO K.K.)
[JP/JP]; 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目 1 3
番 9 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者：栗飯原 範行 (IIHARA Noriyuki); 〒
3691 893 埼玉県秩父市下影森 1 5 0 5 番地 昭
和電工株式会社内 Saitama (JP). 村木 典孝
(MURAKI Noritaka); 〒3691893 埼玉県秩父市下影
森 1 5 0 5 番地 昭和電工株式会社内 Saitama
(JP)-
- (74) 代理人：志賀 正武，外 (SHIGA Masatake et al.); 〒
1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号
Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

- (54) Title: LIGHT-EMITTING DIODE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME
- (54) 発明の名称：発光ダイオード及びその製造方法



(57) Abstract: The present invention provides a light-emitting diode in which the protective film and an electrode film formed thereon are formed at a uniform film thickness and in which the light extraction efficiency is high; and a method for manufacturing the same. This light-emitting diode comprises: a support structure part (6) having an upper surface (6a) and side surfaces (6b); and a mesa structure part (7) arranged on the support structure part (6), the mesa structure part having tilted side surfaces (7a) and a top surface (7b). The tilted side surfaces (7a) are formed by wet etching. The protective film (8) has a power window (8b) exposing a part of the surface of the compound semiconductor layer. A first electrode film (9) is in contact with the surface of the compound semiconductor layer exposed through the power window (8b), and has a light outlet (9b). The reverse surface (1A) of the substrate (1) is provided with a second electrode film (10) in a range overlapping the light outlet (9b).

(57) 要約：本発明によれば、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低い発光ダイオード及びその製造方法が提供される。本発明に係る発光ダイ

オードは、上面 (6 a) 及び側面 (6 b) を有する支持構造部 (6) と、前記支持構造部 (6) 上に配置し、傾斜側面 (7 a) 及び頂面 (7 b) を有するメサ型構造部 (7) とからなる。傾斜側面 (7 a) はウエットエッチングによって形成される。保護膜 (8) は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。第 1 の電極膜 (9) は通電窓 (8 b) から露出された化合物半導体層の表面に接触すると共に、光射出孔 (9 b) を有する。基板 (1) の裏面 (1 A) に、光射出孔 (9 b) に重なる範囲内に第 2 の電極膜 (1 0) を備える。



2013/084867 A1



添付公開書類：

- 国際調査報告 (条約第 21 条 (3))

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5日に日本に出願された特願2011-265981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、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（RCL ED : 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。

[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ビラー構造とし、そのビ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）。

図１２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とを順に備えた共振器型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とをビラー構造１３７とし、ビラー構造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、ビラー構造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。

[0005] 図１２で示したようなビ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。

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２００７－２９９９４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] 上記ビラー構造を形成する際、活性層等を成膜した後の、ビ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ため、図１２に示すように、ビラー構造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。このビ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１２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 12 中の符号 B) には、通電不良の原因になる。

[0008] また、図 12 で示した発光ダイオードでは、ビラー構造を支持する構造の側面 132a 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 132 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、ビ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。

[0010] さらに、図 12 に示したようなビ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、ビラー構造内の発光層全体に電流が流れるために、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ことから、光取り出し効率の向上が阻まれていた。

[0011] 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。

本発明は、さらに、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た発光ダイオード、及び、そ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

[0012] 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順に含む化合物半導体層とを備え、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、上面及び側面を有する支持構造部と、前記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、前記傾斜側面はウエットエッチングによつ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なるように形成されてなり、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、第1の電極膜によつ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つ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、前記第1の電極膜は、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形成された連続膜であり、前記基板の反射層とは反対側に、平面視して前記光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を備えた、ことを特徴とする発光ダイオード。

(2) 基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、光射出孔から光を外部に射出する発光ダイオードであつて、上面及び側面を有する支持構造部と、前記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、その側面は、ウエットエッチングによつて形成され、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、前記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なるように形成されてなり、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、前記傾斜側面はウエットエッチングによつ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なるように形成されてなり、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、第1の電極膜によつ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、前記第1の電極膜は、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形成された連続膜であり、前記基板の反射層とは反対側に、平面視して前記光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を備えた、ことを特徴とする発光ダイオード。

(3) 前記反射層がDBR反射層であることを特徴とする(1)又は(2)のいずれかに記載の発光ダイオード。

(4) 前記活性層の基板とは反対側に上部DBR反射層を備えることを特徴とする(3)に記載の発光ダイオード。

(5) 前記傾斜部が二以上の傾斜部分からなり、各傾斜部分が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が含む水平方向の断面積の方が前記上面から遠い傾斜部分が含む水平方向の断面積より小さいことを特徴とする(1)～(4)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(6) 前記第1の電極膜及び/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)～(5)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(7) 前記化合物半導体層が、前記電極膜に接触するコンタクト層を有す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)～(7)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(9) 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)～(8)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(10) 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(9)に記載

載の発光ダイオード。

(11) 前記メサ型構造部の高さが3～7 μmであって、平面視した前記傾斜側面の幅が0.5～7 μmであることを特徴とする(1)～(10)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(12) 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)～(11)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

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

(14) 前記第1の電極膜の前記上面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)～(13)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(15) 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)～(14)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(16) 前記活性層に含まれる発光層が $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{y1}In_{1-y1}P$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$)、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})As$ ($0 \leq x2 \leq 1$)、 $(In_{x3}Ga_{1-x3})As$ ($0 \leq x3 \leq 1$) のいずれかからなることを特徴とする(1)～(15)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(17) 基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、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、前記基板の反射層とは反対側に、平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を形成する工程と、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なるように形成されてなるメサ型構造部と前記メサ型構造部の周囲に配置する上面とを形成する工程と、前記上面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形成された連続膜である第1の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。

(18) 基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、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、前記基板の反射層とは反対側に、平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を形成する工程と、前記化合物半導体層に第1のウエ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なるように形成されてなるメサ型構造部と、前記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のウエ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前記光射出孔を囲繞するように配置して、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形成された連続膜である第1の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。

(19) 前記第1及び第2のウエットエッチングを、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(17)又は(18)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

[001 3] 本発明の一の態様の発光ダイオードによれば、基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、光射出孔から光を外部に射出すると共に、保護膜が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、第1の電極膜は、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、上面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を有するように形成された連続膜であり、基板の反射層とは反対側に、平面視して光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を備えた構成を採用したので、第1の電極膜のうち通電窓を埋めた部分と光射出孔に重なる範囲内に形成された第2の電極膜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り、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。

本発明の一の態様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、前記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。

本発明の一の態様の発光ダイオードによれば、メサ型構造部の傾斜側面はウエ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なるように形成されてな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。その結果、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、ウエ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。

[0014] 本発明の別の態様の発光ダイオードによれば、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、その側面は、ウエットエッチ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、前記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なるように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、ウエ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。

[001 5] 本発明の別の態様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反射層を備える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。

[001 6] 本発明の別の態様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、各傾斜部分が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が含む水平方向の断面積ほど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。その結果、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。

[001 7] 本発明の別の態様の発光ダイオードによれば、第1の電極膜及び/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第1の電極膜及び/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。

[001 8] 本発明の別の態様の発光ダイオードによれば、化合物半導体層が第1の電

極膜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。

[0019] 本発明の別の態様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。

[0020] 本発明の別の態様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、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。

[0021] 本発明の別の態様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。

[0022] 本発明の別の態様の発光ダイオードによれば、メサ型構造部の高さが3～7 μm であって、平面視した傾斜側面の幅が0.5～7 μm 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。その結果、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。

[0023] 本発明の別の態様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楕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。

[0024] 本発明の別の態様の発光ダイオードによれば、光射出孔の径が50～150 μm である構成を採用することにより、50 μm 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、150 μm 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。

[0025] 本発明の別の態様の発光ダイオードによれば、第1の電極膜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）をかけられる第1の電極膜の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。

[0026] 本発明の別の態様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、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り、その結果、発光再結合確率が増大して、応答速度が高い。

[0027] 本発明の一の態様の発光ダイオードの製造方法によれば、基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、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、基板の反射層とは反対側に、平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を形成する工程を有する構成を採用したので、第1の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り、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。

本発明の一の態様の発光ダイオードの製造方法によれば、化合物半導体層をウエ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なるように形成されてなるメサ型構造部と前記メサ型構造部の周囲に配置する上面とを形成する工程と、メサ型構造部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するよう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、上面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形成された連続膜である第1の電極膜を形成する工程と、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。その結果、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ビ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ビ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。

[0028] 本発明の別の態様の発光ダイオードの製造方法によれば、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

- [0029] [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] 本発明の第1の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。
- [図4] 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5] 本発明の第2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7] 本発明の第4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10] ウエツトエツチングのエツ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を説明するための断面模式図である。

[図12] 従来の発光ダイオードの断面模式図である。

発明を実施するための形態

[0030] 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。例えば、一の実施形態で示した構成を他の実施形態に適用することもできる。

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。

[0031] 発光ダイオード (第1の実施形態)

図1に、本発明を適用した第1の実施形態の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上に形成された発光ダイオードの斜視図である。

[0032] 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を順に含む化合物半導体層とを備え、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って、上面6a及び側面6bを有する支持構造部6と、前記支持構造部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、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、傾斜側面7aはウエツトエツチングによって形成されてなると共に頂面7bに向かって水平方向の断面積が連続的に小さくなるように形成されて

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、第 1 の電極膜 9 によって順に覆われてなり、保護膜 8 は、上面 6 a の少なくとも一部と、メサ型構造部 7 の傾斜側面 7 a と、メサ型構造部 7 の頂面 7 b の周縁領域 7 b a とを覆うとともに、平面視して周縁領域 7 b a の内側であってかつ光射出孔 9 b の周囲に配置して、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 8 b を有し、第 1 の電極膜 9 は、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）の表面に直接接触すると共に、上面 6 a 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 7 b 上に光射出孔 9 b を有するように形成された連続膜であり、基板 1 の反射層 2 とは反対側に、平面視して光射出孔 9 b に重なる範囲内に第 2 の電極膜 10 を備えている。

また、本実施形態では、反射層 2 は DBR 反射層（下部 DBR 反射層）であり、活性層 3 の基板 1 と反対側に上部 DBR 反射層 4 を備え、化合物半導体層は第 1 の電極膜 9 に接触するコンタクト層 5 を有するものである。

また、メサ型構造部 7 は、平面視して矩形であり、第 1 の電極膜 9 の光射出孔 9 b は平面視して円形である。ただし、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 9 b の平面視も円形に限定されない。

メサ型構造部 7 の第 1 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。

[0033] 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（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プレート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。

[0034] メサ型構造部 7 は、支持構造部 6 の上面 6 a に対して上方に突出した構造であり、傾斜側面 7 a と頂面 7 b とを有する。図 1 で示した例の場合、傾斜側面 7 a は、活性層 3 の全層、上部 DBR 反射層 4 及びコンタクト層 5 の傾

斜断面からなり、傾斜側面 7 a の上に、保護膜 8、第 1 の電極膜 (おもて面電極層) 9、光漏れ防止膜 16 が順に設けられている。頂面 7 b は、コンタクト層 5 の表面からなり、頂面 7 b の上に、保護膜 8 (符号 8 b a 及び符号 8 d の部分) と、第 1 の電極膜 9 (符号 9 b a、9 b b 及び 9 d の部分) とが設けられている。

[0035] また、本発明のメサ型構造部 7 の内部は、コンタクト層 5 と、上部 DBR 反射層 4 と、活性層 3 の少なくとも一部とを含む。

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 DBR 反射層 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。これにより活性層 3 で発光した光が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 DBR 反射層 2 の一部を含んでもよい。

[0036] また、メサ型構造部 7 は、その傾斜側面 7 a はウエットエッチングによって形成されてなると共に、基板 1 側から頂面に向かって水平方向の断面積が連続的に小さくなるように形成されてなる。傾斜側面 7 a はウエットエッチ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。また、より好ましくは、高さ h は $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 、幅 w は $3 \sim 7 \mu\text{m}$ であり、さらに好ましい幅 w は $4 \sim 6 \mu\text{m}$ である。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樣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 $7 \mu\text{m}$ を超えるまでウエ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。

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。

[0037] 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 $\text{AlO} \cdot 3\text{GaO} \cdot 7\text{As}$ からなり、層厚が $3\text{ }\mu\text{m}$ である点以外は、後述する実施例と同様な構成である。

[0038] 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 $7\text{ }\mu\text{m}$ であり、幅 w は $3.5 \sim 4.5\text{ }\mu\text{m}$ であった。

[0039] 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。

[0040] 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。支持構造部 6 の上面 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。

[0041] 支持構造部 6 は上面 6 a と側面 6 b を備える。支持構造部 6 の上面 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、十分な荷重（及び超音波）をかけることが可能な第 1 の電極膜の上面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。

[0042] 支持構造部 6 の上面 6 a の上には、保護膜 8、第 1 の電極膜（おもて面電極層）9 が順に形成されており、第 1 の電極膜 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。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 DBR 反射層 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 DBR 反射層の最上面が支持構造部 6 の上面 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 DBR 反射層の最上面の材料である。

[0043] 基板 1 の裏面 1 A には、平面視して光射出孔 9 b に重なる範囲内に、第 2 の電極膜（裏面電極）10 を備えている。

第 1 の電極膜のうち通電窓 8 b を埋めた部分（「コンタクト部分 9 b b」）と、平面視して、通電窓 8 b の内側に配置する光射出孔 9 b に重なる範囲内に形成された第 2 の電極膜 10 との間に電流が集中することにより、活性層 3 のうち光射出孔 9 b 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り、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する。

[0044] 第 2 の電極膜 10 の形状に特に制限はなく、その材料としては公知の電極材料を用いることができ、例えば、Au、AuBe 合金、AuGe 合金を用いることができる。

[0045] 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、支持構造部 6 の上面 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、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 とからなり、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。

- [0046] 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、保護膜 8 をおもて面電極層 9 の下層に配置して、おもて面電極層 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する領域を頂面 7 b 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ても第 2 の電極膜（裏面電極）10 との間に電流が流れることはない。第 2 の電極膜（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。

- [0047] 保護膜 8 の第 2 の機能は、第 1 の機能は必須の機能であるのに対して必須の機能ではない。図 1 に示す保護膜 8 の場合、第 2 の機能は、平面視しておもて面電極層 9 の光射出孔 9 b 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。

[0048] 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。

[0049] また、保護膜 8 の膜厚は、0.3 ~ 1 μm が好ましく、より好ましくは 0.5 ~ 0.8 μm である。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。なお、保護膜 8 の膜厚は、支持構造部 6 の上面 6 a や頂面 7 b のような平坦部分における膜厚である。

[0050] 第 1 の電極膜 (おもて面電極層) 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。

[0051] 第 1 の電極膜 (おもて面電極層) 9 の第 1 の機能は第 2 の電極膜 (裏面電極) 10 との間に電流を流すことであり、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。

[0052] 第 1 の電極膜 9 は支持構造部 6 の上面 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21には第1の電極膜を覆わないのが好ましい。

[0053] 第1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に接触していないので、第1の電極膜9と第2の電極膜（裏面電極）10とは、コンタクト部9bbと第2の電極膜（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9b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。

[0054] 第1の電極膜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、第1の電極膜9の膜厚は、0.5～2.0μmが好ましく、より好ましくは1.2～1.8μmである。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。なお、第1の電極膜9の膜厚は、支持構造部6の上面6aや頂面7bのような平坦部分における膜厚である。

[0055] 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。

[0056] 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。第1の電極膜9と同じAuBe/Auでもよい。

[0057] 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。

[0058] 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。

- [0059] 光射出孔 9 b の径は、 $50 \sim 150 \mu\text{m}$ であるのが好ましい。 $50 \mu\text{m}$ 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、 $150 \mu\text{m}$ 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。
- [0060] 基板 1 としては、例えば、GaAs 基板を用いることができる。
- [0061] 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、 $\pm 20^\circ$ 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 $\pm 5^\circ$ であることがより好ましい。
- [0062] GaAs 基板の転位密度は、下部 DBR 反射層 2、活性層 3 及び上部 DBR 反射層 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、 $10,000 \text{ 個 cm}^{-2}$ 以下、望ましくは、 $1,000 \text{ 個 cm}^{-2}$ 以下であることが好適である。
- [0063] 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 $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 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 $2 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であることが好ましい。
- [0064] 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 75 mm の場合には、ハンドリング時の割れを防止するために $250 \sim 500 \mu\text{m}$ の厚さが望ましい。同様に、直径

50 mm の場合は、200 ~ 400 μm の厚さが望ましく、直径 100 mm の場合は、350 ~ 600 μm の厚さが望ましい。

[0065] 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、矩形等であっても問題ない。

[0066] 反射層（下部 DBR 反射層 2）及び化合物半導体層（活性層 3、上部 DBR 反射層 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。

[0067] 基板 1 上に形成される反射層（下部 DBR 反射層）及び化合物半導体層は、下部 DBR 反射層 2、活性層 3 及び上部 DBR 反射層 4 が順次積層されて構成されている。

[0068] DBR (Distributed Bragg Reflector) 層は、 $\lambda/4n$ の膜厚で（ λ : 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。

DBR 反射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、DBR 反射層を構成する 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。

[0069] 下部 DBR 反射層 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 対未満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 対を超えるよう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DBR反射層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 $(Al_{xh}Ga_{1-xh})_{\gamma 3}In_{1-\gamma 3}P$ ($0 < xh \leq 1$, $\gamma 3 = 0.5$)、 $(Al_{xl}Ga_{1-xl})_{\gamma 3}In_{1-\gamma 3}P$ ($0 \leq xl < 1$, $\gamma 3 = 0.5$)の対であり、両者のAlの組成差 $\Delta x = xh - xl$ 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AlInPの組み合わせか、又は、組成の異なる2種類の $Al_{xl}Ga_{1-xl}As$ ($0.1 \leq xl \leq 1$)、 $Al_{xh}Ga_{1-xh}As$ ($0.1 \leq xh \leq 1$)の対であり、両者の組成差 $\Delta x = xh - xl$ 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AlGaInP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AlInP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、AlGaAsは、大きな屈折率差をとりやすいという利点がある。

[0070] 上部DBR反射層4も、下部DBR反射層2と同様の層構造を用いることができるが、上部DBR反射層4を透過させて光を射出する必要があるので、下部DBR反射層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DBR反射層2と同じ材料からなる場合、下部DBR反射層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DBR反射層4を透過する光量が低下しすぎるからである。

[0071] 本発明の発光ダイオードは、活性層3を低反射率の上部DBR反射層4と高反射率の下部DBR反射層2で挟み、活性層3で発光した光が上部DBR反射層4と下部DBR反射層2との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。

[0072] 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 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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 $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) 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 $(\text{Al}_{x4}\text{Ga}_{1-x4})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x4 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$, $x1 < x4$) または井戸層 $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) 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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 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。

[0083] 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 A l G a A s 又は A l G a I n P 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 A l G a A s 又は A l G a I n P 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 A l G a I n P を用いた場合、欠陥を作りやすい A s 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 $(A l_{x1} G a_{1-x1})_{y1} I n_{1-y1} P$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) を用いた場合、ガイド層 14 の材料としてより A l 組成の高い $(A l_{x4} G a_{1-x4})_{y1} I n_{1-y1} P$ ($0 \leq x4 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$, $x1 < x4$) または井戸層 $(A l_{x1} G a_{1-x1})_{y1} I n_{1-y1} P$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) よりバンドギャップエネルギーが大きくなる A l G a A s を用いることができる。

[0084] 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 nm ~ 100 nm がより好ましい。

[0085] 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。

[0086] 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。

[0087] 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、A l G a A s、A l G a I n P を用いることができる。

[0088] 例えば、井戸層 17 の材料として A l G a A s 又は I n G a A s を用い、バリア層 18 の材料として A l G a A s 又は A l G a I n P 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 A l G a A s 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 $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) 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 $(\text{Al}_{x4}\text{Ga}_{1-x4})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x4 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$, $x1 < x4$) または井戸層 $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{P}$ ($0 \leq x1 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) 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。

[0089] 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、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。

[0090] コンタクト層 5 は、第 1 の電極膜 9 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。

[0091] 発光ダイオード (第 2 の実施形態)

図 5 に、本発明を適用した第 2 の実施形態の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例を示した断面模式図を示す。

第 1 の実施形態では、支持構造部の側面は垂直であつたが、第 2 の実施形態は、その側面がウエットエッチングによって形成され、支持構造部の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む構成である。

以下では、主に第 1 の実施形態と異なる構成について説明する。

[0092] 図 5 に示す発光ダイオード 200 は、上面 6 a 及び側面 6 b を有する支持構造部 6 と、前記支持構造部 6 上に配置し、傾斜側面 7 a 及び頂面 7 b 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つて、その側面 6 b が、ウエットエッチ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 を含み、前記傾斜部 6 b a を含む水平方向の断面積が上面 6 a に向かって連続的に小さくなるように形成されてなり、保護膜 8 は、第 1 の実施形態と同じ部分の他に、側面 6 b のうち少なくとも傾斜部 6 b a を覆い、基板 1 の反射層 2 とは反対側に、平面視して光射出孔 9 b に重なる範囲内に第 2 の電極膜 10 を備えている。

本実施形態では、支持構造部 6 の側面 6 b は、傾斜部 6 b a (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 6 b b とからなる。

本実施形態では、支持構造部 6 の側面 6 b の傾斜部 6 b a 上に保護膜を介して光漏れ防止膜 24 を備えている。

[0093] 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、ウエットエッチ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なるように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。

[0094] 傾斜部 6 b a は、その高さが 7 μm を超えるまでウエットエッチングを行うと、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 μm 以下であることが好ましい。

[0095] 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、各傾斜部分が含む水平方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）傾斜部分が含む水平方向の断面積の方が、上面から遠い（下方側の）傾斜部分が含む水平方向の断面積より小さくなるように、各傾斜部分を形成する。この場合、上下に隣り合う傾斜部分間の境界部における水平方向の断面積は、垂直方向にわたって不連続となってよい。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 μm を超える場合には一つの傾斜部分をウエットエッチングで形成すると、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 μm 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、ウエットエッチングによって傾斜部を深く（高く）形成すると、横方向にもエッチ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、エッチングの異方性の影響で平面視して縦と横のエッチ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。

[0096] 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、前記頂面 7 b の中央部分を覆う部分 8 d 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。

[0097] 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 の他の部分やメサ型構造部 7 上に形成されてもよい。

[0098] 光漏れ防止膜 2 4 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、第 1 の電極膜 9 と同時に形成可能であることから、AuBe / Au が好ましい。

[0099] 発光ダイオード（第 3 の実施形態）

図 6 に、本発明を適用した第 3 の実施形態の発光ダイオード一例である共振器型発光ダイオードの例を示した断面模式図を示す。

第 1 の実施形態では、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 3 の実施形態は、光射出孔の下に保護膜を有さず、保護膜を介さずに光射出孔 9 b から直接、光を取り出す構成である。かかる構成を第 2 の実施形態に適用してもよい。

すなわち、第 3 の実施形態に係る共振器型発光ダイオード 3 0 0 では、保護膜 2 8 は、上面 6 a の少なくとも一部 2 8 c と、メサ型構造部 7 の傾斜側面 7 a と、メサ型構造部 7 の頂面 7 b の周縁領域 7 b a とを覆うとともに、平面視して周縁領域 7 b a の内側にコンタクト層 5 の表面を露出する通電窓 2 8 b を有する。電極膜 2 9 は、保護膜 2 8 を介して上面 6 a 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 とを覆い、さらに、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。また、基板 1 の反射層 2 とは反対側に、平面視して光射出孔 29b に重なる範囲内に第 2 の電極膜 10 を備えている。

[0100] 図 6 に示すように、第 3 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、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、メサ型構造部 7 の頂面 7b の周縁領域 7ba を覆う部分 28ba とからなり、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 の上に第 1 の電極膜 (おもて面電極層) 29 を形成するが、この第 1 の電極膜 29 と第 2 の電極膜 10 との間において電流を流さない部分に保護膜 8 を形成している。

[0101] また、図 6 に示すように、第 3 の実施形態の第 1 の電極膜 (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 を開口するようにコンタクト層 5 を覆う部分 29bb とからなる。

第 3 の実施形態の第 1 の電極膜 (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。

[0102] 第 3 の実施形態においても、第 1 の電極膜 29 のうち通電窓を埋めた部分 (コンタクト部分 29bb) と、平面視して、通電窓 28b の内側に配置する光射出孔 29b に重なる範囲内に形成された第 2 の電極膜 10 との間に電

流が集中することにより、活性層 3 のうち光射出孔 29 b 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り、その結果、光射出孔 29 b に向かう光の割合が高くなり、光取り出し効率が向上する。

[01 03] 発光ダイオード (第 4 の実施形態)

図 7 に、本発明を適用した第 4 の実施形態の発光ダイオードの一例を示した断面模式図を示す。

第 4 の実施形態の発光ダイオード 400 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、その代わりに電流拡散層 40 を備えた点異なる。

本実施形態は上部 DBR 反射層を備えないので共振器型の発光ダイオードではない。

[01 04] 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、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

$0.1\mu\text{m}$ 未満では電流拡散効果が不十分だからであり、 $10\mu\text{m}$ 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。

[01 05] 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。

[01 06] 発光ダイオード (第 1 の実施形態) の製造方法

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の製造方法を説明する。

図 8 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 9 は、図 8 の後の一工程を示す断面模式図である。

[01 07] (化合物半導体層の形成工程)

まず、図 8 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 反射層 2 と、活性層 3 と、上部 DBR 反射層 4 と、コンタクト層 5 とを順次積層して作製する。

[01 08] 基板 1 と下部 DBR 反射層 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、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上とすることが好ましく、 $0.2\ \mu\text{m}$ 以上とすることがより好ましい。

[01 09] 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 $50\sim 150\text{ mm}$ 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、高速回転型等の市販の大型装置を適用することができる。

[01 10] 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、III 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 ($(\text{CH}_3)_3\text{Al}$)、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ェニルマグネシウム ($\text{bis}-(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$) 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。

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。

[01 11] 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。

[01 12] (第 2 の電極膜の形成工程)

次に、図 8 に示すように、基板 1 の裏面に、平面視して形成予定の光射出孔 9b に重なる範囲内に第 2 の電極膜 (裏面電極) 10 を形成する。第 2 の電極膜 (裏面電極) 10 は公知の方法によって形成することができる。

具体的には、例えば、基板 1 が n 型基板である場合には、基板 1 の裏面 1A 全面に例えば蒸着法によって、Au 膜、AuGe 膜を順に成膜する。次に、フォトリソグラフィの手法を用いて、その膜をパターニングして、所定の位置に、n 型オーミック電極の第 2 の電極膜 10 を形成する。

[01 13] 第 2 の電極膜 10 はリフトオフによって形成してもよい。すなわち、基板 1 の裏面 1A 上に、第 2 の電極膜 10 の形成位置にその形状に対応する開口部を有するマスクを形成して、その上に蒸着法等によって第 2 の電極膜 10 を構成する材料からなる膜を成膜し、その後、マスクを除去することによって第 2 の電極膜 10 を形成してもよい。

[01 14] (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 5 と上部 DBR 反射層 4 と活性層 3 の少なくとも一部とをウエットエッチングする。

具体的には、まず、図 9 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。

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。

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 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。

ウエットエッチングを行った後に、レジストを除去する。

[01 15] 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エットエッチングを行う。

ウエ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。

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。

[01 16] 化合物半導体層がAs系の化合物半導体層とP系の化合物半導体層とが順に積層されている場合は、As系の化合物半導体層と他のP系のAs系の化合物半導体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系のコンタクト層及び発光層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（1）、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 ($NH_4OH : H_2O_2 : H_2O$) を用いることができる。

[01 17] 例えば、化合物半導体層が最上層側から順に、AlGaAs からなるコンタクト層 5、AlGaAs からなる上部 DBR 反射層 4、活性層 3 (AlGaInP からなる上部クラッド層、AlGaAs からなる発光層、AlGaInP からなる下部クラッド層)、AlGaAs からなる下部 DBR 反射層 2 の順に積層された構造の場合に、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。

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 及び AlGaAs からなる上部 DBR 反射層 4 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 からなる上部クラッド層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、コンタクト層及び AlGaAs からなる上部 DBR 反射層 4 を合わせた厚さを $1.0 \mu m$ 程度とすると、 100 秒程度エッチングを行えばよい。

[01 18] 次に、メサ型構造部以外の部分の AlGaInP からなる上部クラッド層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、 $0.72 \mu m / min$ 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、上部クラッド層の厚さが $4 \mu m$ 程度とすると、 6 分間程度エッチングを行えばよい。

[01 19] 次に、メサ型構造部以外の分の AlGaAs からなる発光層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 からなる下部クラッド層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。

[01 20] 次に、メサ型構造部以外の部分の AlGaInP からなる下部クラッド層をヨウ素系エッチャントを用いてエッチング除去する。

この下部クラッド層の下には AlGaAs からなる下部DBR反射層2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、下部クラッド層の厚さを $0.5\ \mu\text{m}$ 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、4分間以下でエッチングを行えばよい。

[01 21] また、 As 系の化合物半導体層に対しては、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、上記エッチング除去を行うこともできる。

[01 22] 図10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 $30^\circ\text{C} \sim 34^\circ\text{C}$ のエッチャントを用いて、後述する実施例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。

[01 23] [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

[01 24] 図 10 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 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、ウエ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。

[01 25] （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。

[01 26] （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、全面にフォトレジストを堆積し、フォトリソグラ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、パーフルオロ硫酸を用いてウエットエッチングにより、メサ型構造部の頂面の通電窓 8b に対応する部分とストリートに対応する部分の保護膜 8 の材料を除去して保護膜 8 を形成する。

図 11 に、保護膜 8 の通電窓 8b 近傍の平面図を示す。

その後、レジストを除去する。

[01 27] （おもて面電極層の形成工程）

次に、おもて面電極層 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 8b から露出しているコンタクト層 5 上に、光射出孔 9b を有するおもて面電極層 9 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 9b に対応する部分と、ウレ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。

[01 28] 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。

[01 29] (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。

[01 30] (金属基板側面の金属保護膜形成工程)

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。

[01 31] 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) の製造方法は、化合物半導体層の形成工程、第 2 の電極膜の形成工程、及び、メサ型構造部の形成工程については本発明の発光ダイオード (第 1 の実施形態) の製造方法の工程と同様に行うことができる。メサ型構造部の形成工程のウエットエッチングについては、本実施形態の「第 1 のウエットエッチング」と読み替えて、以下、説明する。

[01 32] (支持構造部の傾斜部の形成工程)

メサ型構造部の形成工程の第 1 のウエットエッチングにより、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。

本工程では、個片化用切断ライン (図 2 の点線 2 2) に沿って第 2 のウエットエッチングを行って、支持構造部 6 の側面 6 a の傾斜部 6 b a 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。

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は、同じエッチャントを用いて行うことができる。

[0133] 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、プロピルアルコール混合液、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種以上を用いて第2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、支持構造部6の側面6aの傾斜部6baを形成することができる。

その後、レジストを除去する。

[0134] 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チング時間によって決まる。

[0135] この後の工程は、発光ダイオード（第1の実施形態）の製造方法と同様の方法によって行うことができる。

[0136] 発光ダイオード（第3の実施形態）の製造方法〕

本発明の発光ダイオード（第3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。

[0137] 発光ダイオード（第4の実施形態）の製造方法〕

本発明の発光ダイオード（第4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反射層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。

実施例

[0138] 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、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の外径を $166\mu\text{m}$ 、その内径を $154\mu\text{m}$ 、光射出孔の径を $150\mu\text{m}$ 、第2の電極膜を平面視円形としその外径を $100\mu\text{m}$ とした。

[0139] (実施例)

実施例の発光ダイオードは、まず、Siをドーピングしたn型のGaAs単結晶からなるGaAs基板の上に、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 $250\mu\text{m}$ とした。化合物半導体層とは、SiをドーピングしたGaAsからなるn型の緩衝層、3iをドーピングした $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ と $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ の40対の繰り返し構造であるn型の下部DBR反射層、Siをドーピングした $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなるn型の下部クラッド層、 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ からなる下部ガイド層、GaAs/ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ の3対からなる井戸層/バリア層、 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ からなる上部ガイド層、Cをドーピングした $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなるp型の上部クラッド層、Cをドーピングした $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ と $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ の5対の繰り返し構造であるp型の上部DBR反射層、Cドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ からなるコンタクト層である。

[0140] 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 $250\mu\text{m}$ 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、Cのドーピング原料としては、テトラプロモメタン (CBr_4) 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、 700°C で成長させた。

[0141] 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 $0.5 \mu\text{m}$ とした。下部DBR反射層はキャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 54 nm 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 51 nm 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 54 nm とした。下部ガイド層は、アンダーで層厚を約 50 nm とした。井戸層は、アンダーで層厚が約 7 nm の GaAs とし、バリア層はアンダーで層厚が約 7 nm 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、アンダーで層厚を約 50 nm 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 54 nm とした。また、上部DBR反射層はキャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 54 nm 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 51 nm 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 250 nm とした。

[0142] 次に、基板裏面に、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、形成予定の光射出孔に重なる範囲内に、外径 $100 \mu\text{m}$ の平面視円形となるようにパターンニングして、n型の第2の電極膜を形成した。

[0143] 次に、メサ型構造部を形成するため、パターンニングしたレジスト (AZ5200NJ (クラリアント社製)) を用いて、 $\text{H}_2\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 2$

:5 :9 のリン酸/ 過酸化水素水混合液を用いて、60 秒間、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 DBR 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 $7\ \mu\text{m}$ 、幅 w が $5\ \mu\text{m}$ 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。

[0144] 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 (AZ5200NJ (クラリアント社製)) によるパターンニング後、バッファードフッ酸を用いて、平面視同心円形（外径 d_{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。

[0145] 次に、おもて面電極（膜）を形成するため、レジスト (AZ5200NJ (クラリアント社製)) によるパターンニング後、八りを $1.2\ \mu\text{m}$ 、AUB 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）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 p 型および n 型オーミック電極を形成した。

[0146] 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)) によるパターンニング後、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。

[0147] 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断し、チップ化した。ダイシングによる破砕層および汚れを硫酸・過酸化水素混合液でエッチング除去して、実施例の発光ダイオードを作製した。

[0148] 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

—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。

[0149] 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1.8Vであった。順方向電流を20mAとした際の発光出力は1.7mWであった。また、応答速度（立ち上がり時間： T_r ）は12nsであった。

[0150] 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。

[0151] （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。

[0152] 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型の上クラッド層を20 μm 、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ からなるアンドープの発光層を2 μm 、 $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ からなるp型の下クラッド層を20 μm 、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 μm 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 μm 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 μm のp型オーミック電極を80 μm 間隔に形成した。次に、ダイシングソーにより350 μm 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。

[0153] 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73

0 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 nsecであり、本発明の実施例に比べて遅かった。

産業上の利用可能性

[0154] 本発明によれば、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される。また、本発明によれば、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た発光ダイオード、及び、その製造方法を提供される。したがって、本発明は、発光ダイオード及びその製造方法に、好適に用いることができる。そのため、本発明は産業上極めて有用である。

符号の説明

- [0155]
- 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
 - 6a 上面
 - 6b 側面
 - 6ba 傾斜部
 - 7 メサ型構造部
 - 7a 傾斜側面
 - 7b 頂面
 - 7ba 周縁領域

８、２８ 保護膜

８ｂ、２８ｂ 通電窓

９、２９ 電極膜

９ｂ、２９ｂ 光射出孔

１０ 第２の電極膜

１１ 下部クラッド層

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、３００、４００ 発光ダイオード

請求の範囲

[請求項 1]

基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、

上面及び側面を有する支持構造部と、前記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、前記傾斜側面はウエ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なるように形成されてなり、

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、第 1 の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、

前記第 1 の電極膜は、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形成された連続膜であり、

前記基板の反射層とは反対側に、平面視して前記光射出孔に重なる範囲内に第 2 の電極膜を備えた、ことを特徴とする発光ダイオード。

[請求項 2]

基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、

上面及び側面を有する支持構造部と、前記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、その側面は、ウエットエッチ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、前記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なるように形成されてなり、

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、前記傾斜側面はウエツ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なるように形成されてなり、

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、第1の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、

前記第1の電極膜は、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形成された連続膜であり、

前記基板の反射層とは反対側に、平面視して前記光射出孔に重なる範囲内に第2の電極膜を備えた、ことを特徴とする発光ダイオード。

[請求項3] 前記反射層がDBR反射層であることを特徴とする請求項1又は2のいずれかに記載の発光ダイオード。

[請求項4] 前記活性層の基板とは反対側に上部DBR反射層を備えることを特徴とする請求項3に記載の発光ダイオード。

[請求項5] 前記傾斜部が二以上の傾斜部分からなり、各傾斜部分が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が含む水平方向の断面積の方が前記上面から遠い傾斜部分が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2

～ 4 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 6] 前記第 1 の電極膜及び/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 1～5 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 7] 前記化合物半導体層が、前記第 1 の電極膜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 1～6 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 1～7 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 9] 前記メサ型構造部は平面視して矩形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 9 に記載の発光ダイオード。

[請求項 11] 前記メサ型構造部の高さが 3～7 仰山であって、平面視した前記傾斜側面の幅が 0.5～7 μm であることを特徴とする請求項 1～10 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 12] 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 1～11 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 13] 前記光出射孔の径が 50～150 μm であることを特徴とする請求項 12 に記載の発光ダイオード。

[請求項 14] 前記第 1 の電極膜の前記上面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 1～13 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 15] 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 1～14 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 16] 前記活性層に含まれる発光層が $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$

($0 \leq X_1 \leq 1$, $0 < Y_1 \leq 1$)、 $(Al_{X_2}Ga_{1-X_2})As$ ($0 \leq X_2 \leq 1$)、 $(In_{X_3}Ga_{1-X_3})As$ ($0 \leq X_3 \leq 1$) のいずれかからなることを特徴とする請求項 1～15 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項 17]

基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、

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、

前記基板の反射層とは反対側に、平面視して形成予定の前記光射出孔に重なる範囲内に第 2 の電極膜を形成する工程と、

前記化合物半導体層をウエ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なるように形成されてなるメサ型構造部と前記メサ型構造部の周囲に配置する上面とを形成する工程と、

前記上面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形成された連続膜である第 1 の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 18]

基板上に反射層と活性層を順に含む化合物半導体層とを備え、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、

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、

前記基板の反射層とは反対側に、平面視して形成予定の前記光射出

孔に重なる範囲内に第２の電極膜を形成する工程と、

前記化合物半導体層に第１のウエ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なるように形成されてなるメサ型構造部と、前記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のウエ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前記光射出孔を囲繞するように配置して、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、

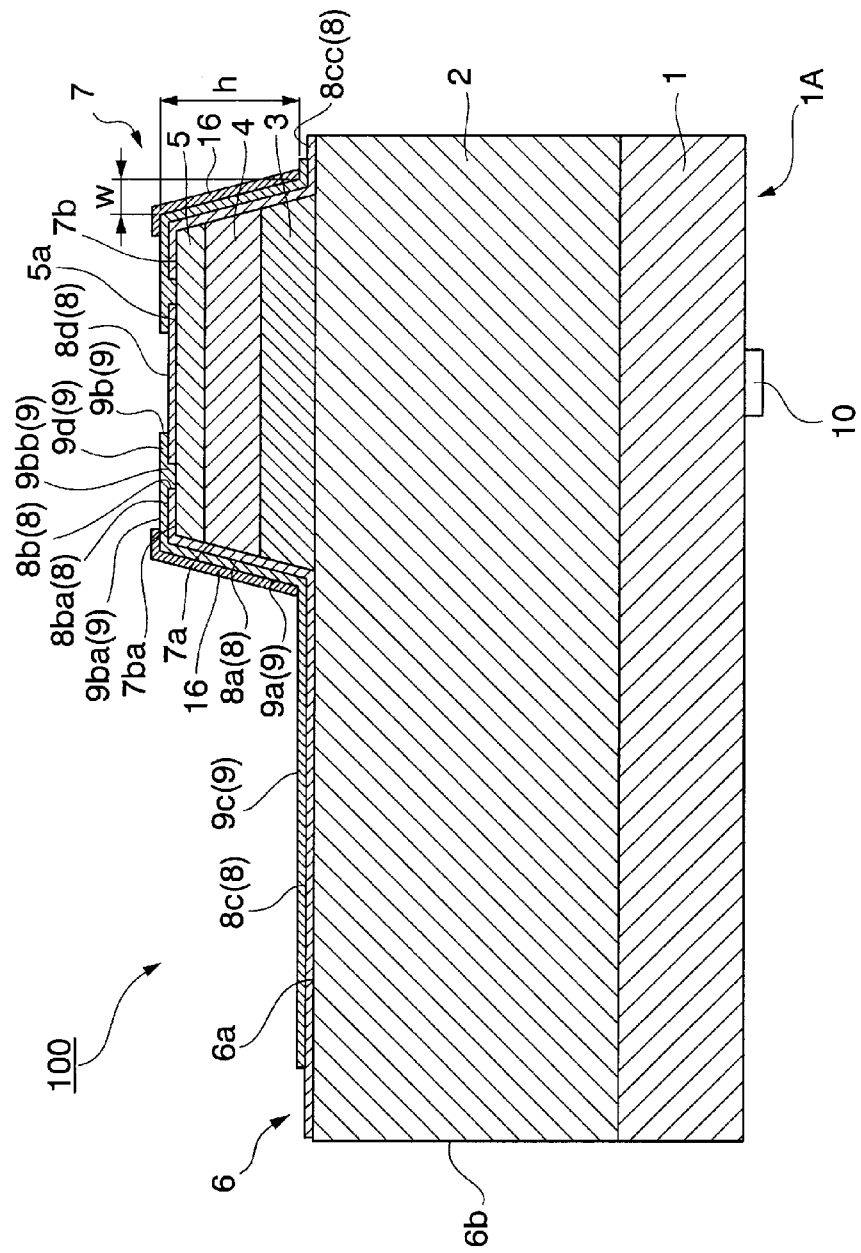
前記通電窓から露出された化合物半導体層の表面に直接接触すると共に、前記上面上に形成された保護膜の一部を少なくとも覆い、前記メサ型構造部の頂面上に光射出孔を有するように形成された連続膜である第１の電極膜を形成する工程と、

を有することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。

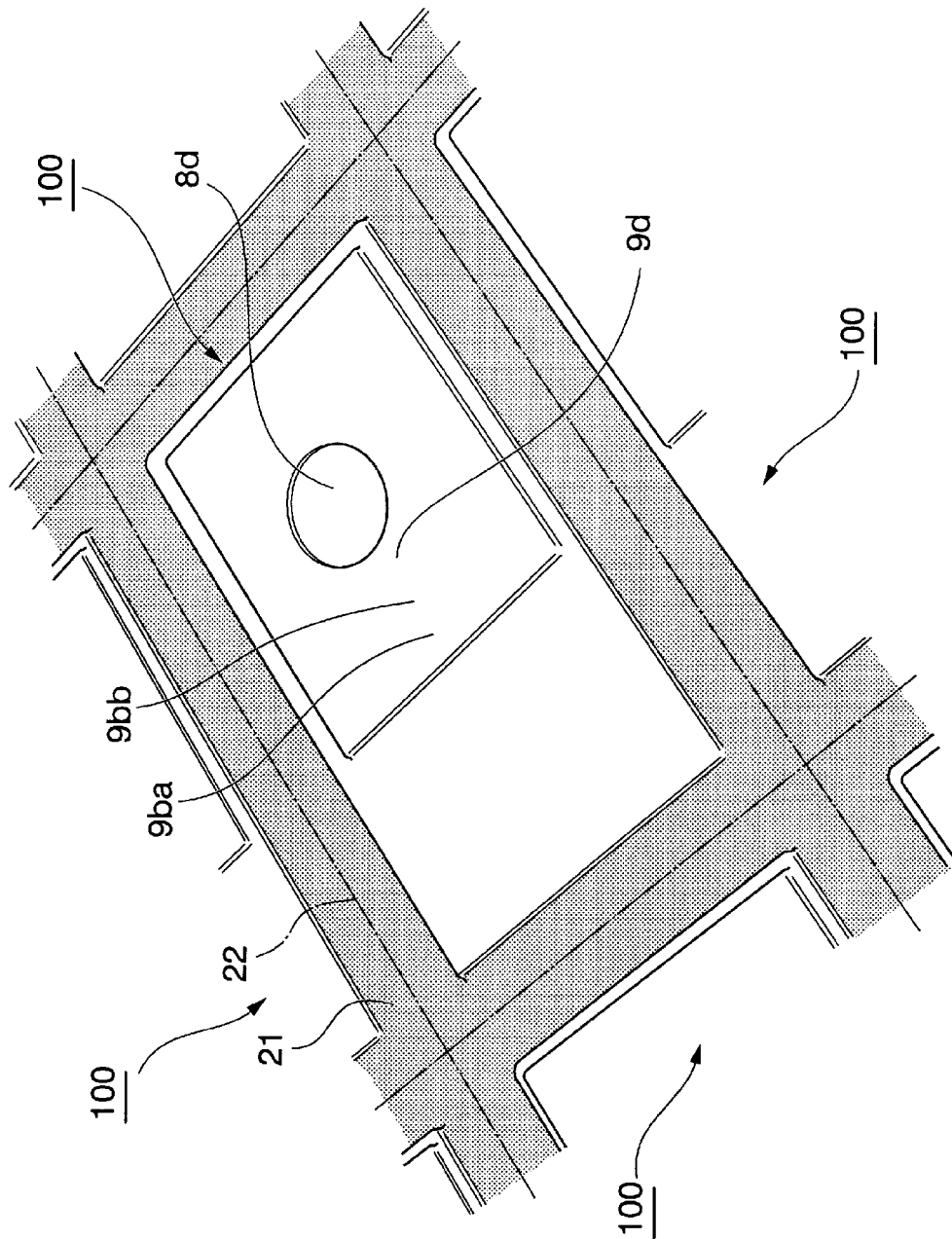
[請求項 19]

前記第１及び第２のウエットエッチングを、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 １７又は １８のいずれかに記載の発光ダイオードの製造方法。

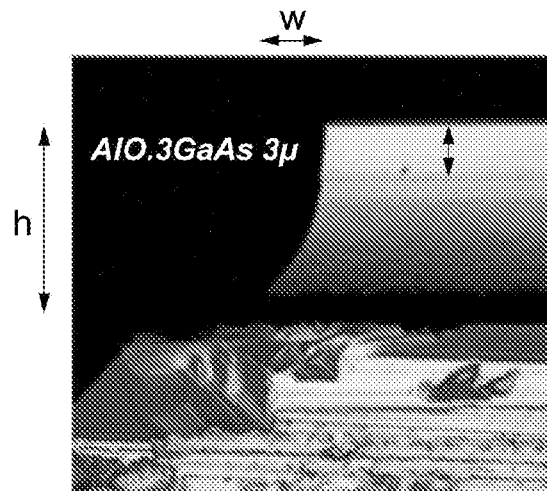
[図1]



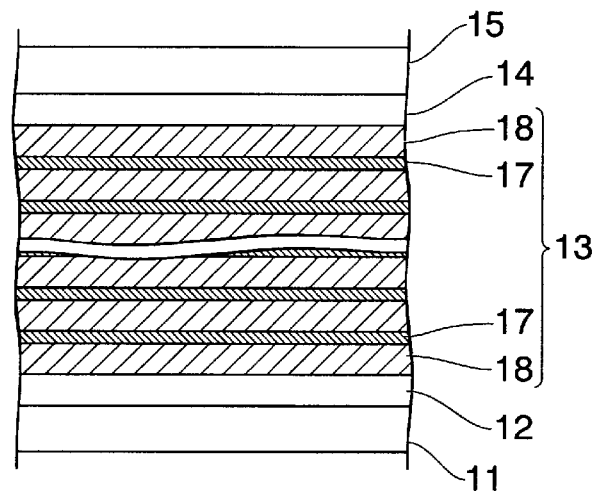
[図2]



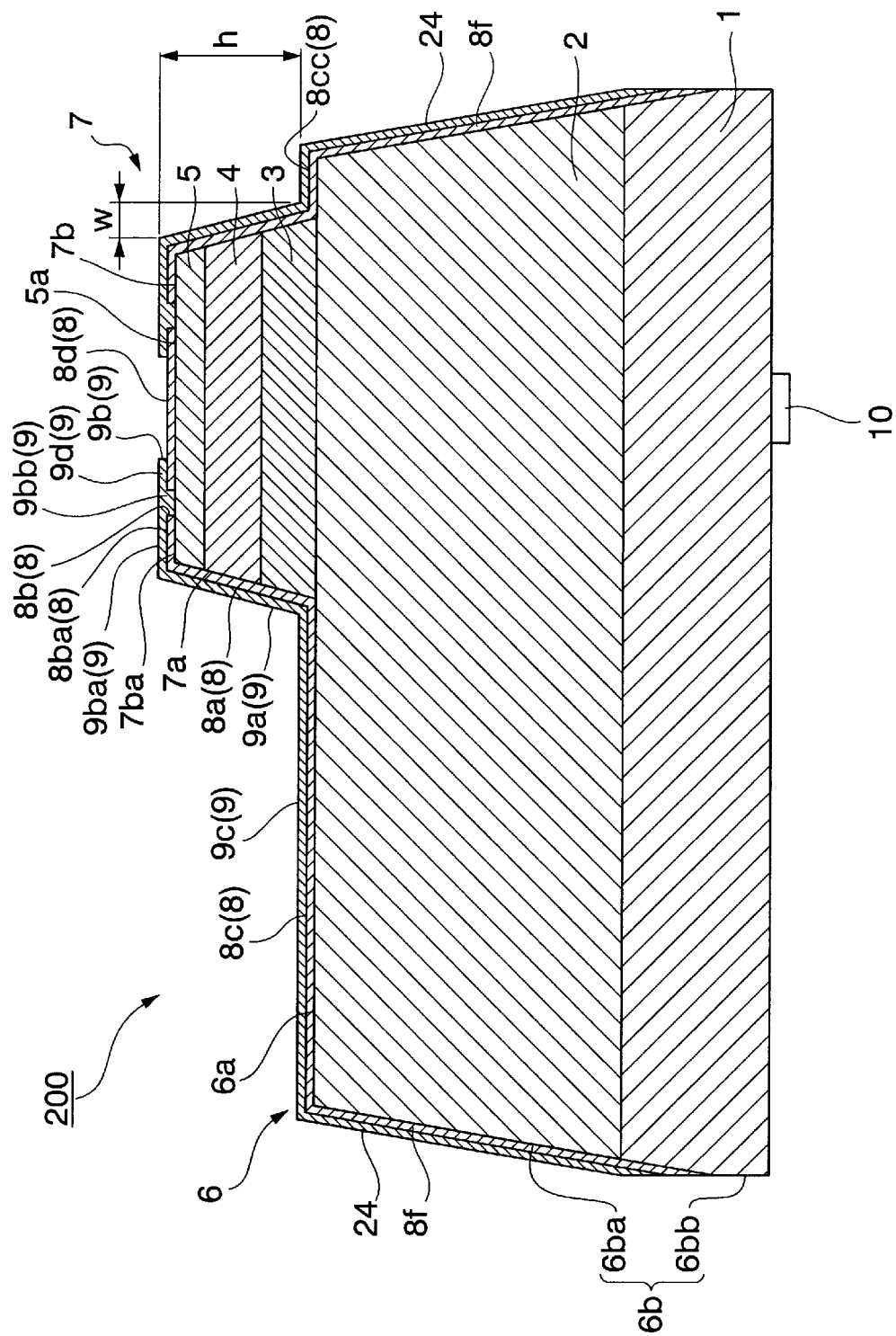
[図3]



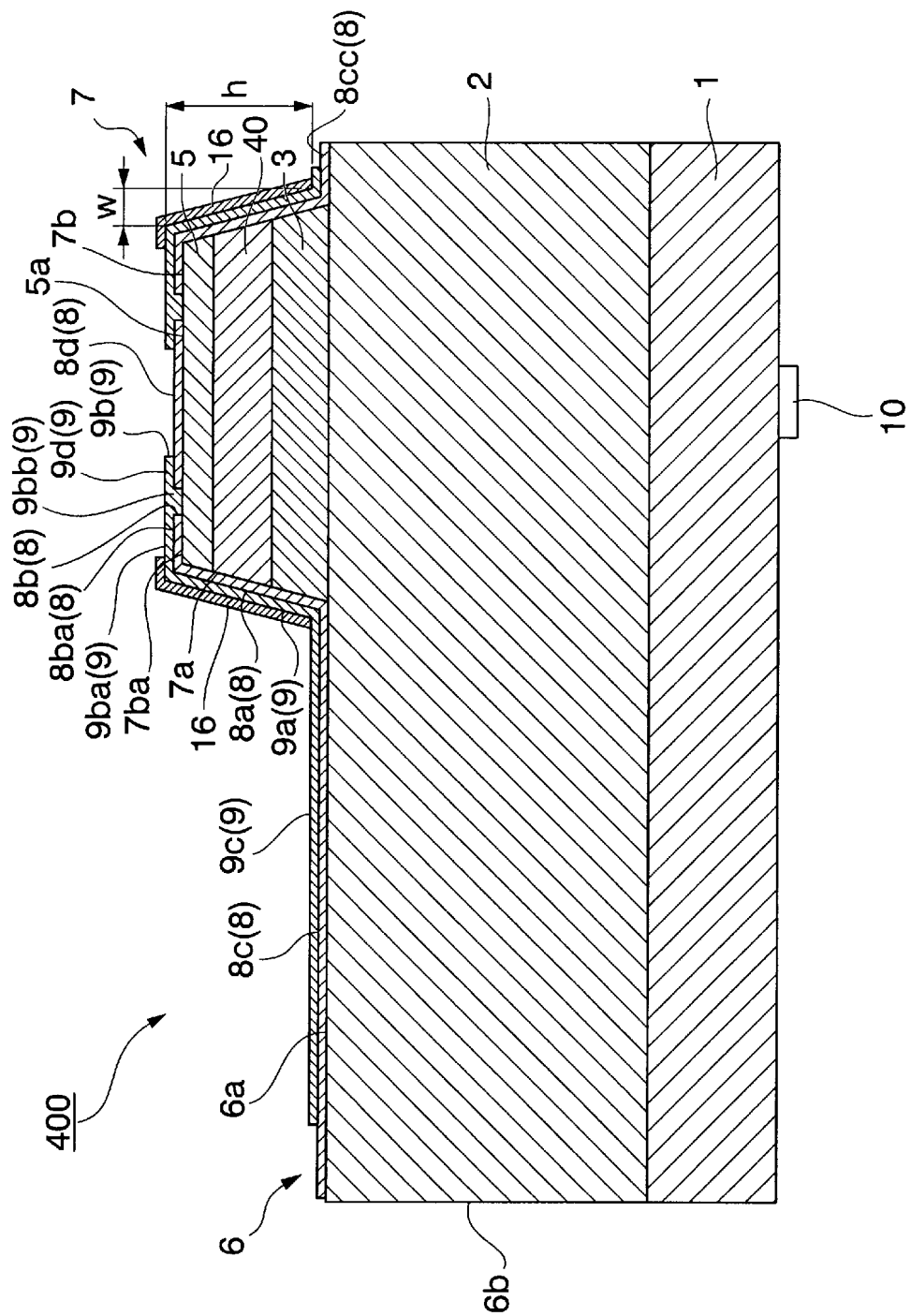
[図4]



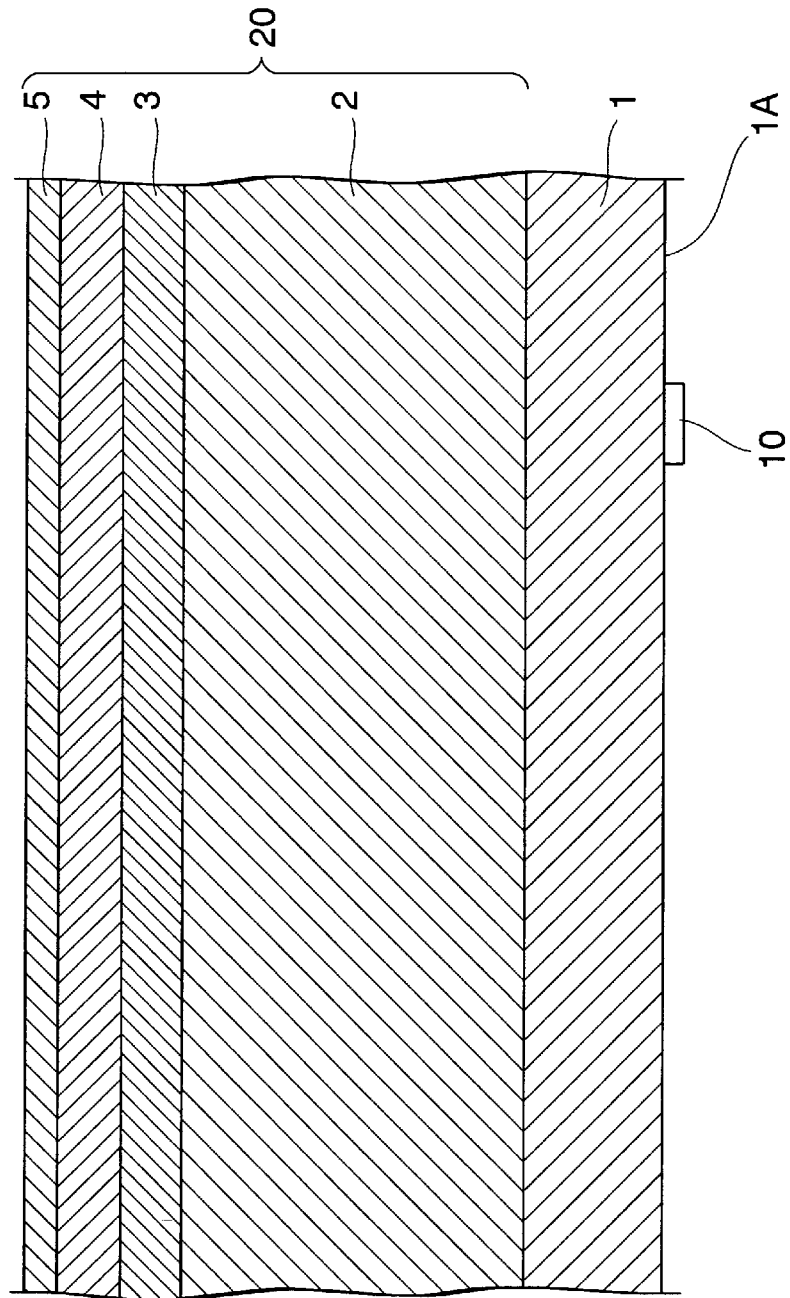
[図5]



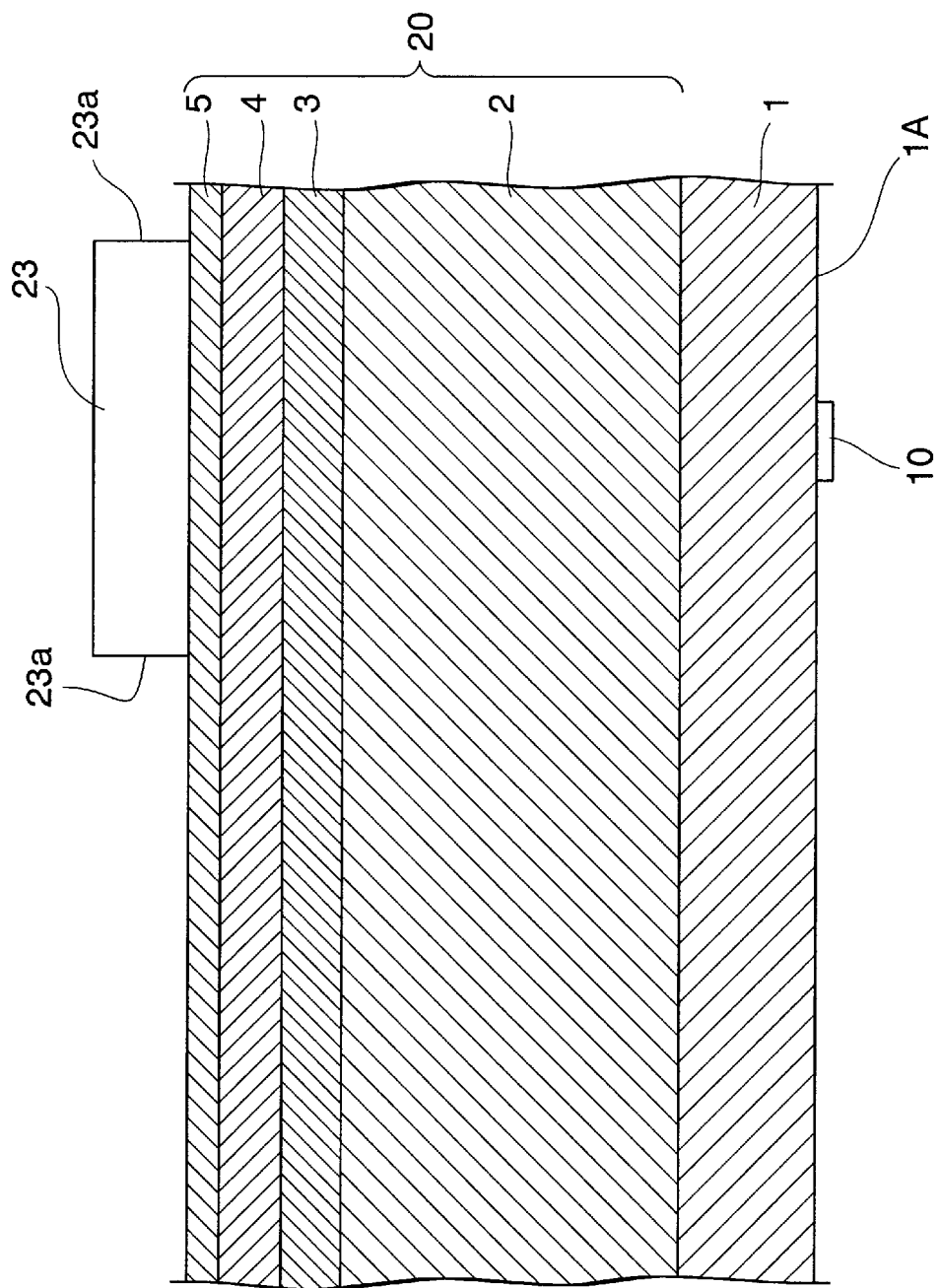
[図7]



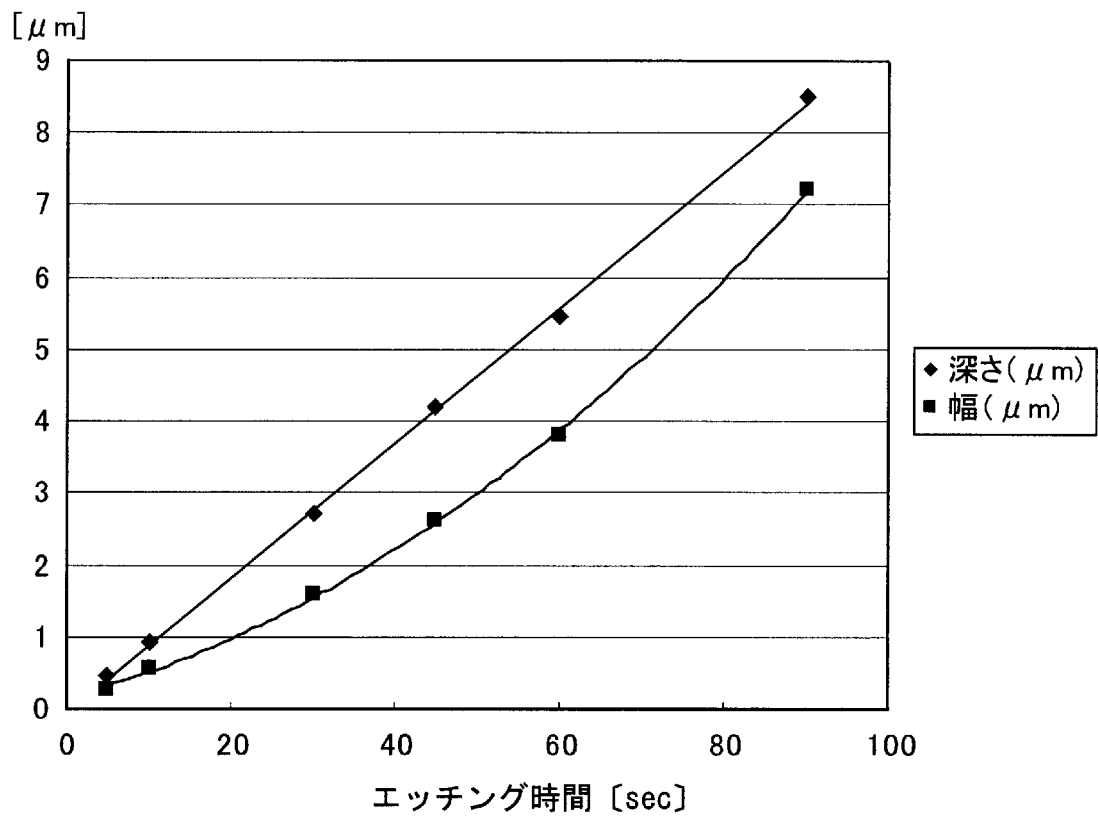
[図8]



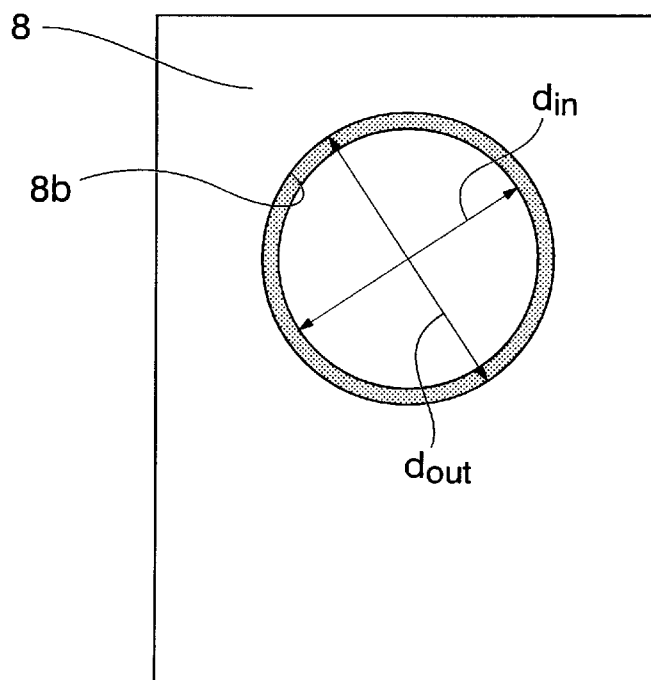
[図9]



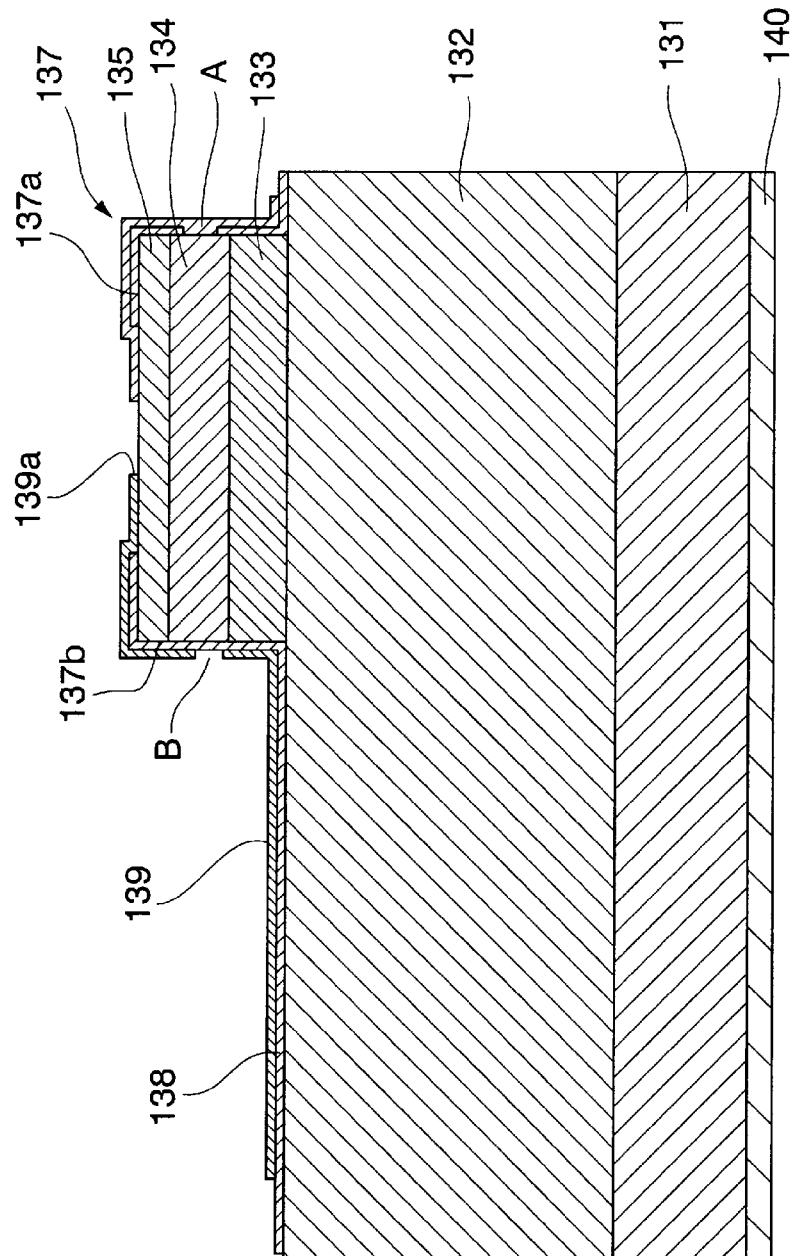
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 012 / 081342

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01 L33/20 (2010.01)i, H01L33/06 (2010.01)i, H01L33/10 (2010.01)i, H01L33/30 (2010.01)i, H01 L33/38 (2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L33/00-33/64

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo	Shinan	Koho	1922-1996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Koho	1996-2013
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2013	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 06-045650 A (Omron Corp.), 18 February 1994 (18.02.1994), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0021]) (Family: none)	1-19
Y	JP 11-046016 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 16 February 1999 (16.02.1999), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0030], [0040], [0043], [0067]) (Family: none)	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 January, 2013 (08.01.13)

Date of mailing of the international search report
15 January, 2013 (15.01.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 012 / 081342

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004- 111648 A (Hamamat su Photoni cs Kabu shi ki Kai sha), 08 April 2004 (08.04.2004), entire text ; all drawings (part icul arly , fig. 1) (Family : none)	1~19
Y	JP 2000- 196149 A (Kyocera Corp.), 14 July 2000 (14.07.2000), entire text ; all drawings (part icul arly , paragraph s [0007], [0008] ; fig . 1) (Family : none)	2, 5, 10, 18
Y	JP 07- 142427 A (Mi tsubi shi Cable I ndu stries, Ltd .), 02 June 1995 (02.06.1995), entire text ; all drawings (part icul arly , paragraph s [0004] to [0006]) (Family : none)	10
A	JP 2010- 226085 A (Kyocera Corp.), 07 October 2010 (07.10.2010), entire text ; all drawings (Family : none)	1~19
P, A	wo 2012/ 124420 A1 (Showa Denko Kabu shi ki Kai sha), 20 September 2012 (20.09.2012), entire text ; all drawings (Family : none)	1~19

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/20 (2010. 01) i , H01L33/06 (2010. 01) i , H01L33/10 (2010. 01) i , H01L33/30 (2010. 01) i ,
H01L33/38 (2010. 01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00- 33/64

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922—1996年
日本国公開実用新案公報	1971—2013年
日本国実用新案登録公報	1996—2013年
日本国登録実用新案公報	1994—2013年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 06-045650 A (オムロン株式会社) 1994. 02. 18, 全文、全図 (特に、[0021]) (ファミリーなし)	1-19
Y	JP 11-046016 A (沖電気工業株式会社) 1999. 02. 16, 全文、全図 (特に、[0030] , [0040] , [0043] , [0067]) (ファミリーなし)	1-19
Y	JP 2004-111648 A (浜松ホトニクス株式会社) 2004. 04. 08, 全文、全図 (特に、図 1) (ファミリーなし)	1-19

☒ c 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

IA 「特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの」
IE 「国際出願 日前の出願または特許であるが、国際出願 日以後に公表されたもの」
I 「優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行 日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)」
IΘ 「口頭による開示、使用、展示等に言及する文献」
P 「国際出願 日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「」 国際出願 日又は優先 日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
rx 「特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの」
IY 「特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの」
I& 「同一パテントファミリー文献」

国際調査を完了した日

08. 01. 2013

国際調査報告の発送日

15. 01. 2013

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA / JP)

郵便番号 100—8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 秀樹

電話番号 03—3581—1101 内線 3255

2K

3154

C (続 き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2000-196149 A (京セラ株式会社) 2000. 07. 14, 全文、全図 (特に、[0007] , [0008] 、図 1) (ファミリーなし)	2, 5, 10, 18
Y	JP 07-142427 A (三菱電線工業株式会社) 1995. 06. 02 , 全文、全図 (特に、[0004] - [0006]) (ファミリーなし)	10
A	JP 2010-226085 A (京セラ株式会社) 2010. 10. 07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19
P, A	W0 2012/124420 A1 (昭和電工株式会社) 2012. 09. 20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19