

(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
2012 年 2 月 16 日(16.02.2012)

PCT

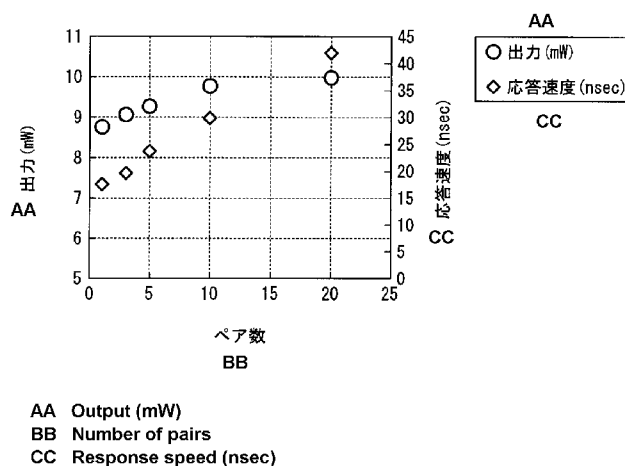
(10) 国際公開番号
WO 2012/020789 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/06 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/068256
- (22) 国際出願日: 2011 年 8 月 10 日(10.08.2011)
- (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 2010-179475 2010 年 8 月 10 日(10.08.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 栗飯原 範行(AIHARA Noriyuki) [JP/JP]; 〒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, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LIGHT-EMITTING DIODE, LIGHT-EMITTING DIODE LAMP, AND ILLUMINATION DEVICE

(54) 発明の名称: 発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置

[図9]



(57) Abstract: A light-emitting diode according to the present invention is characterized by comprising: an active layer having a quantum well structure obtained by alternately laminating a barrier layer and a well layer comprising a compound semiconductor represented by the compositional formula $(Al_{X1}Ga_{1-X1})As(0 \leq X1 \leq 1)$; a light-emitting part having a first cladding layer and a second cladding layer that sandwich the active layer; a current-diffusing layer formed on the light-emitting part; and a functional substrate bonded to the current-diffusing layer, and is characterized in that the first and second cladding layers are formed from a compound semiconductor represented by the compositional formula $(Al_{X2}Ga_{1-X2})Y_1In_{1-Y1}P(0 \leq X2 \leq 1, 0 \leq Y1 \leq 1)$, and the number of pairs of the well layer and the barrier layer is 5 or less.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/020789 A1



本発明に係る発光ダイオードは、組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、前記発光部上に形成された電流拡散層と、前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、前記第1及び第2のクラッド層を組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})^{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、前記井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置

技術分野

[0001] 本発明は、発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置に関するものであり、特に高速応答性と高出力性を備えた赤色光又は赤外光を発光する発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置に関する。

背景技術

[0002] 赤色光又は赤外光を発光する発光ダイオードは、通信、各種センサー、夜間照明、植物工場用の光源など用途が広がっている。

それに応じて、赤色光又は赤外光を発光する発光ダイオードに対する要求は、主に高出力性を重視するもの、あるいは、主に高速応答性を重視するものから、それらの両方を重視するものへと変化している。特に、通信用の発光ダイオードでは、大容量の光空間伝送を行うため、高速応答性と高出力性が必須である。

[0003] 赤色光及び赤外光を発光する発光ダイオードとして、GaAs基板にAlGaAs活性層を含む化合物半導体層を液相エピタキシャル法で成長させた発光ダイオードが知られている（例えば、特許文献1～4）。

[0004] 特許文献4において、液相エピタキシャル法を用いてGaAs基板にAlGaAs活性層を含む化合物半導体層を成長させ、その後、成長基板として用いたGaAs基板を除去する、いわゆる基板除去型の発光ダイオードが開示されている。特許文献4において開示された発光ダイオードでは、応答速度（立ち上がり時間）が40～55ns程度においては出力が4mW以下である。また、応答速度が20ns程度においては出力が5mWを若干超えた程度であり、液相エピタキシャル法を用いて作製した発光ダイオードとしては現在最も高い応答速度で高出力のものであると思われる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平6－21507号公報

特許文献2：特開2001－274454号公報

特許文献3：特開平7－38148号公報

特許文献4：特開2006－190792号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上記の出力では通信用の発光ダイオードとしては十分ではない。

発光ダイオードは半導体レーザーと異なり、自然放出光を利用しているため、高速応答性と高出力性とはトレードオフの関係にある。従って、例えば、単に発光層の層厚を薄くしてキャリアの閉じ込め効果を増大して電子と正孔の発光再結合確率を高め、高速応答化を図っても、発光出力は低下してしまうという問題がある。なお、キャリアの閉じ込め効果とは、発光層即ち活性層とクラッド層との境界にできるポテンシャル障壁によって、キャリアを活性層領域に閉じ込めることをいう。

[0007] 本発明は、上記事情を鑑みてなされたものであり、高速応答性と高出力性とを兼ね備えた赤色光及び／又は赤外光を発光する発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置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

[0008] 本発明者は、上記課題を解決するために鋭意研究を重ねた結果、 AlGaAs 井戸層と AlGaAs 又は4元混晶の AlGaInP からなるバリア層とを交互に5ペア以下積層した量子井戸構造を活性層とし、この活性層を挟むクラッド層を4元混晶の AlGaInP からなるものとし、活性層及びクラッド層を含む化合物半導体層を成長基板にエピタキシャル成長させた後、その成長基板を除去し、化合物半導体層を透明基板に改めて貼り付ける（接合する）構成とすることにより、高速応答性を維持しつつ、高出力で赤色光

及び／又は赤外光を発光する発光ダイオードを完成させた。

この際、本発明者は、まず、高いキャリアの閉じ込め効果を有し、高速応答に適した量子井戸構造を活性層に採用すると共に、高い注入キャリア密度を確保するために井戸層及びバリア層のペア数を5以下とした。この構成により、液相エピタキシャル法を用いて作製された発光ダイオードの上記の最も高速の応答速度と同程度か若しくはそれ以上の応答速度を実現した。

また、3元混晶の量子井戸構造又は3元混晶の井戸層と4元混晶のバリア層とからなる量子井戸構造を挟むクラッド層に、バンドギャップが大きくて発光波長に対して透明であり、かつ、欠陥を作りやすいAsを含まないので結晶性の良い4元混晶のAlGaInPを採用した。

また、従来、AlGaAs系の活性層を用いる発光ダイオードにおいては、この活性層を含む化合物半導体層を透明基板に貼り付ける（接合する）タイプはなく、化合物半導体層を成長させたGaAs基板をそのまま用いていた。しかし、GaAs基板はAlGaAs系活性層に対し不透明であり光の吸収が避けられないため、化合物半導体層を成長後に成長基板であるGaAs基板を除去することにより、光の吸収を回避でき、高出力への寄与が期待できる透明基板に貼り付ける（接合する）タイプを採用した。

[0009] 以上の通り、本発明者は、5ペア以下の量子井戸構造を活性層とする構成を採用して高速応答性を確保し、この構成において、3元混晶の量子井戸構造を挟むクラッド層に4元混晶を用いるという画期的な組み合わせを採用すると共に、化合物半導体層の成長に用いた成長基板を除去して光吸収のない基板に改めて化合物半導体層を貼り付けた構成を採用することにより、高出力化を図ることに成功したのである。

[0010] 本発明は、以下の手段を提供する。

(1) 組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、

前記発光部上に形成された電流拡散層と、

前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、

前記第1及び第2のクラッド層を組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、

前記井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする発光ダイオード。

(2) 組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層と、組成式 $(\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})_{y_2}\text{In}_{1-y_2}\text{P}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$, $0 < y_2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、

前記発光部上に形成された電流拡散層と、

前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、

前記第1及び第2のクラッド層を組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、

前記井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする発光ダイオード。

(3) 前記活性層と前記クラッド層との接合面積が $20000 \sim 90000 \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする上記(1)または(2)のいずれかに記載の発光ダイオード。

なお、「前記活性層と前記クラッド層との接合面積」とは、ガイド層等の層を介して活性層とクラッド層とが接合されている場合には、それらの層と活性層若しくはクラッド層との間の接合面積を含む。

(4) 前記井戸層のAl組成 x_1 を $0.20 \leq x_1 \leq 0.36$ とし、前記井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $660 \sim 720 \text{ nm}$ に設定されてなることを特徴とする上記(1)から(3)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(5) 前記井戸層のAl組成 x_1 を $0 \leq x_1 \leq 0.2$ とし、前記井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $720 \sim 850 \text{ nm}$ に設定されてなるこ

とを特徴とする上記（１）から（３）のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

（６）前記機能性基板は発光波長に対して透明であることを特徴とする上記（１）から（５）のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

（７）前記機能性基板はGaP、サファイア又はSiCからなることを特徴とする上記（１）から（６）のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

（８）組成式 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})As$ ($0 \leq x1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第１のクラッド層と第２のクラッド層とを有する発光部と、前記発光部上に形成された電流拡散層と、

前記発光部に対向して配置して発光波長に対して９０％以上の反射率を有する反射層を含み、前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、前記第１及び第２のクラッド層を組成式 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y1}In_{1-y1}P$ ($0 \leq x2 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、前記井戸層及びバリア層のペア数が５以下であることを特徴とする発光ダイオード。

（９）組成式 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})As$ ($0 \leq x1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層と、組成式 $(Al_{x3}Ga_{1-x3})_{y2}In_{1-y2}P$ ($0 \leq x3 \leq 1$, $0 < y2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第１のクラッド層と第２のクラッド層とを有する発光部と、

前記発光部上に形成された電流拡散層と、

前記発光部に対向して配置して発光波長に対して９０％以上の反射率を有する反射層を含み、前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、

前記第１及び第２のクラッド層を組成式 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y1}In_{1-y1}P$ ($0 \leq x2 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、

前記井戸層及びバリア層のペア数が５以下であることを特徴とする発光ダイオード。

(10) 前記活性層と前記クラッド層との接合面積が20,000~90,000 μm^2 であることを特徴とする上記(8)または(9)のいずれかに記載の発光ダイオード。

(11) 前記井戸層のAⅠ組成X1を $0.20 \leq X1 \leq 0.36$ とし、前記井戸層の厚さを3~30 nmとし、発光波長が660~720 nmに設定されてなることを特徴とする上記(8)から(10)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(12) 前記井戸層のAⅠ組成X1を $0 \leq X1 \leq 0.2$ とし、前記井戸層の厚さを3~30 nmとし、発光波長が720~850 nmに設定されてなることを特徴とする上記(8)から(10)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(13) 前記機能性基板はシリコンまたはゲルマニウムからなる層を含むことを特徴とする上記(8)から(12)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(14) 前記機能性基板は金属基板を含むことを特徴とする上記(8)から(12)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(15) 前記金属基板は2枚以上の金属層からなることを特徴とする上記(14)に記載の発光ダイオード。

(16) 前記電流拡散層はGaPからなることを特徴とする上記(1)から(15)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(17) 前記電流拡散層の厚さは0.5~20 μm の範囲であることを特徴とする上記(1)から(16)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(18) 前記機能性基板の側面は、前記発光部に近い側においては主たる光取り出し面に対して略垂直である垂直面を有し、前記発光部に遠い側においては前記主たる光取り出し面に対して内側に傾斜した傾斜面を有することを特徴とする上記(1)から(17)のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

(19) 前記傾斜面は粗い面を含むことを特徴とする上記(18)に記載の

発光ダイオード。

(20) 第1の電極及び第2の電極が発光ダイオードの前記主たる光取り出し面側に設けられていることを特徴とする上記(18)または(19)のいずれかに記載の発光ダイオード。

(21) 前記第1の電極及び前記第2の電極がオーミック電極であることを特徴とする上記(20)に記載の発光ダイオード。

(22) 前記機能性基板の、前記主たる光取り出し面側の反対側の面に、第3の電極をさらに備えることを特徴とする上記(20)または(21)のいずれかに記載の発光ダイオード。

(23) 上記(1)から(22)のいずれか一項に記載の発光ダイオードを備えることを特徴とする発光ダイオードランプ。

(24) 上記(22)に記載の発光ダイオードを備え、前記第1の電極又は第2の電極と、前記第3の電極とが略同電位に接続されていることを特徴とする発光ダイオードランプ。

(25) 上記(1)から(22)のいずれか一項に記載の発光ダイオードを2個以上搭載した照明装置。

[0011] 本発明において、「機能性基板」とは、成長基板に化合物半導体層を成長させた後にその成長基板を除去し、電流拡散層を介して化合物半導体層に接合して化合物半導体層を支持する基板をいう。なお、電流拡散層に所定の層を形成した後に、その所定の層の上に所定の基板を接合する構成の場合は、その所定の層を含めて「機能性基板」という。

発明の効果

[0012] 本発明の発光ダイオードによれば、AlGaAsからなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層、又は、AlGaAsからなる井戸層とAlGaInPからなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層を採用し、注入キャリアの閉じ込め効果が大きい量子井戸を用いる構成とした。そのため、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、応答速度が向上した。

また、量子井戸構造内に注入されたキャリアはその波動性のためにトンネル効果によって量子井戸構造内の井戸層間全体に広がることになる。しかしながら、量子井戸構造の井戸層及びバリア層のペア数を5以下とする構成を採用したので、その広がりによる注入キャリアの閉じ込め効果の低下を極力回避し、高速応答性が担保されている。量子井戸構造の井戸層及びバリア層のペア数は、より好ましくは3以下、さらに好ましくは1である。

さらにまた、量子井戸構造の活性層から発光する構成なので単色性が高い。

また、活性層を挟む第1のクラッド層及び第2のクラッド層として、発光波長に対して透明であると共に、欠陥を作りやすいAsを含まないために結晶性が高いAlGaInPからなる構成を採用した。そのため、欠陥を介した電子と正孔の非発光再結合確率が低下し、発光出力が向上した。

さらに、活性層を挟む第1のクラッド層及び第2のクラッド層として、4元混晶のAlGaInPからなる構成を採用したので、クラッド層が3元混晶からなる発光ダイオードに比べてAl濃度が低く、耐湿性が向上した。

さらにまた、化合物半導体層の成長基板を除去して、電流拡散層に機能性基板を接合した構成を採用したので、成長基板による光の吸収が回避され、発光出力が向上した。すなわち、化合物半導体層の成長基板として通常用いられるGaAs基板はバンドギャップが活性層のバンドギャップよりも狭いため、活性層からの光がGaAs基板に吸収され、光取り出し効率が低下するが、このGaAs基板を除去することによって、発光出力が向上した。

[0013] 本発明の発光ダイオードによれば、活性層とクラッド層との接合面積は20000～90000 μm^2 であることが好ましい。その接合面積を90000 μm^2 以下とすることで電流密度が高くなり、高出力を担保しつつ、発光再結合確率が増大して応答速度が向上する。他方、20000 μm^2 以上とすることで、通電電流に対する発光出力の飽和を抑制することにより、発光出力の大きな低下がなく、高出力が担保される。活性層とクラッド層との接合面

積は、より好ましくは $20000 \sim 53000 \mu\text{m}^2$ である。

[0014] 本発明の発光ダイオードによれば、井戸層のA I組成X 1を $0.20 \leq X 1 \leq 0.36$ とし、井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $660 \sim 720 \text{ nm}$ に設定されてなることが好ましい。これによって、従来の $660 \sim 720 \text{ nm}$ の赤色発光ダイオードに比べて応答速度が高くかつ高出力が実現される。

[0015] 本発明の発光ダイオードによれば、井戸層のA I組成X 1を $0 \leq X 1 \leq 0.2$ とし、井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $720 \sim 850 \text{ nm}$ に設定されてなることが好ましい。これによって、従来の $720 \sim 850 \text{ nm}$ の赤外発光ダイオードに比べて応答速度が高くかつ高出力が実現される。

[0016] 本発明の発光ダイオードによれば、機能性基板は発光波長に対して透明である構成を採用することにより、吸収がある基板を用いた発光ダイオードに比べて高出力が実現される。

[0017] 本発明の発光ダイオードによれば、機能性基板はGaP、サファイア又はSiCからなる構成を採用することにより、腐食しにくい材質であるため、耐湿性が向上する。

[0018] 本発明の発光ダイオードによれば、機能性基板と電流拡散層とをいずれもGaPからなる構成を採用することにより、それらの間の接合強度を大きくすることができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の一実施形態である発光ダイオードを用いた発光ダイオードランプの平面図である。

[図2]本発明の一実施形態である発光ダイオードを用いた発光ダイオードランプの、図1中に示すA-A'線に沿った断面模式図である。

[図3]本発明の一実施形態である発光ダイオードの平面図である。

[図4]本発明の一実施形態である発光ダイオードの、図3中に示すB-B'線に沿った断面模式図である。

[図5]本発明の一実施形態である発光ダイオードを構成する活性層を説明するための図である。

[図6]本発明の一実施形態である発光ダイオードに用いるエピウェーハ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に用いる接合ウェーハの断面模式図である。

[図8A]本発明の他の実施形態である発光ダイオードの平面図である。

[図8B]図8A中に示すC-C'線に沿った断面模式図である。

[図9]本発明の一実施形態である発光ダイオードのペア数と出力及び応答速度との関係を示すグラフである（活性層とクラッド層との接合面積が $123000\mu\text{m}^2$ の場合）。

[図10]本発明の一実施形態である発光ダイオードのペア数と出力及び応答速度との関係を示すグラフである（活性層とクラッド層との接合面積が $53000\mu\text{m}^2$ の場合）。

[図11]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。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明を適用した一実施形態である発光ダイオード及びこれを用いた発光ダイオードランプについて図面を用いて詳細に説明する。なお、以下の説明で用いる図面において、同一部材には同一符号を付し若しくは符号を省略する。また、以下の説明で用いる図面は模式的であり、長さ、幅、及び厚みの比率等は現実のものとは異なる場合がある。

[0021] <発光ダイオードランプ>

図1及び図2は、本発明を適用した一実施形態である発光ダイオードを用いた発光ダイオードランプを説明するための図であり、図1は平面図、図2は図1中に示すA-A'線に沿った断面図である。

[0022] 図1及び図2に示すように、本実施形態の発光ダイオード1を用いた発光ダイオードランプ41は、マウント基板42の表面に1以上の発光ダイオード1が実装されている。

より具体的には、マウント基板 4 2 の表面には、n 電極端子 4 3 と p 電極端子 4 4 とが設けられている。また、発光ダイオード 1 の第 1 の電極である n 型オーミック電極 4 とマウント基板 4 2 の n 電極端子 4 3 とが金線 4 5 を用いて接続されている（ワイヤボンディング）。一方、発光ダイオード 1 の第 2 の電極である p 型オーミック電極 5 とマウント基板 4 2 の p 電極端子 4 4 とが金線 4 6 を用いて接続されている。さらに、図 2 に示すように、発光ダイオード 1 の n 型及び p 型オーミック電極 4, 5 が設けられた面と反対側の面には、第 3 の電極 6 が設けられており、この第 3 の電極 6 によって発光ダイオード 1 が n 電極端子 4 3 上に接続されてマウント基板 4 2 に固定されている。ここで、n 型オーミック電極 4 と第 3 の電極 6 とは、n 極電極端子 4 3 によって等電位又は略等電位となるように電氣的に接続されている。第 3 の電極により、過大な逆電圧に対して、活性層には過電流が流れず、第 3 の電極と p 型電極間に電流が流れ、活性層の破損を防止できる。第 3 の電極と基板界面側に、反射構造を付加し、高出力することもできる。また、第 3 の電極の表面側に、共晶金属、半田などを付加することにより、共晶ダイボンド等、より簡便な組み立て技術を利用可能とする。マウント基板 4 2 の発光ダイオード 1 が実装された表面は、シリコン樹脂やエポキシ樹脂等の一般的な封止樹脂 4 7 によって封止されている。

[0023] <発光ダイオード（第 1 の実施形態）>

図 3 及び図 4 は、本発明を適用した第 1 の実施形態に係る発光ダイオードを説明するための図であり、図 3 は平面図、図 4 は図 3 中に示す B-B' 線に沿った断面図である。また、図 5 は積層構造の断面図である。

第 1 の実施形態に係る発光ダイオードは、組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層 1 7 及びバリア層 1 8 を交互に積層した量子井戸構造の活性層 1 1 と、前記活性層 1 1 を挟む第 1 のクラッド層 9 と第 2 のクラッド層 1 3 とを有する発光部 7 と、発光部 7 上に形成された電流拡散層 8 と、電流拡散層 8 に接合された機能性基板 3 とを備え、第 1 及び第 2 のクラッド層 9、1 3 を組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})\text{In}_{1-x_2}$

$\gamma_1 P$ ($0 \leq X_2 \leq 1$, $0 < Y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、井戸層 17 及びバリア層 18 のペア数が 5 以下であることを特徴とする。

なお、本実施形態における主たる光取り出し面とは、化合物半導体層 2 において、機能性基板 3 を貼り付けた面の反対側の面である。

[0024] 化合物半導体層（エピタキシャル成長層ともいう）2 は、図 4 に示すように、 $p-n$ 接合型の発光部 7 と電流拡散層 8 とが順次積層された構造を有している。この化合物半導体層 2 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、オーミック（*O h m i c*）電極の接触抵抗を下げるためのコンタクト層、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。なお、化合物半導体層 2 は、*G a A s* 基板上にエピタキシャル成長させて形成されていることが好ましい。

[0025] 発光部 7 は、図 4 に示すように、電流拡散層 8 上に、少なくとも p 型の下部クラッド層（第 1 のクラッド層）9、下部ガイド層 10、活性層 11、上部ガイド層 12、 n 型の上部クラッド層（第 2 のクラッド層）13 が順次積層されて構成されている。すなわち、発光部 7 は、放射再結合をもたらすキャリア（担体；*c a r r i e r*）及び発光を活性層 11 に「閉じ込める」ために、活性層 11 の下側及び上側に対峙して配置した下部クラッド層 9、下部ガイド（*g u i d e*）層 10、及び上部ガイド層 12、上部クラッド層 13 を含む、所謂、ダブルヘテロ（英略称：D H）構造とすることが高強度の発光を得る上で好ましい。

[0026] 活性層 11 は、図 5 に示すように、発光ダイオード（L E D）の発光波長を制御するため、量子井戸構造を構成する。すなわち、活性層 11 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）である。従って、例えば、5 対のペア数の量子井戸構造は、5 層の井戸層 17 と 6 層のバリア層 18 とからなる。

[0027] 活性層 11 の層厚は、 $0.02 \sim 2 \mu m$ の範囲であることが好ましい。ま

た、活性層 11 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。結晶性を向上させて欠陥を少なくすると、光の吸収が抑制され、発光出力の向上を図ることができる。

[0028] 井戸層 17 は、組成式 $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})\text{As}$ ($0 \leq x1 \leq 1$) の化合物半導体からなる。

Al 組成 $x1$ は $0 \leq x1 \leq 0.36$ であるのが好ましい。Al 組成 $x1$ をこの範囲とすることにより、 $660 \text{ nm} \sim 850 \text{ nm}$ の範囲で所望の発光波長を有するものとすることができる。

表 1 に、井戸層 17 の層厚が 7 nm のとき、Al 組成 $x1$ と発光波長との関係を示す。

Al 組成 $x1$ が低くなるほど、発光波長が長くなっていることがわかる。また、その変化の傾向から、表に掲載されていない発光波長に対応する、Al 組成を推定することができる。

[表1]

ピーク波長 (nm)	Al 組成 (x)
660	0.31
680	0.27
700	0.23
720	0.19
730	0.17
760	0.12
800	0.05
830	0.02
850	0

[0029] 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。

表 2 に、井戸層 17 の Al 組成 $x1 = 0.23$ のとき、井戸層 17 の層厚と発光波長との関係を示す。表 3 に、井戸層 17 の Al 組成 $x1 = 0.17$

のとき、井戸層 17 の層厚と発光波長との関係を示す。表 4 に、井戸層 17 の A I 組成 $X_1 = 0.02$ のとき、井戸層 17 の層厚と発光波長との関係を示す。層厚が薄くなると量子効果により、波長が短くなる。厚い場合には、発光波長は組成で決まる。また、その変化の傾向から、表に掲載されていない発光波長に対応する、層厚を推定することができる。

[表2]

ピーク波長 (nm)	層厚 (nm)
690	5
700	7
710	15
720	25

[表3]

ピーク波長 (nm)	層厚 (nm)
720	5
730	7
740	15
760	28

[表4]

ピーク波長 (nm)	層厚 (nm)
810	3
820	5
830	7
840	20

[0030] 以上の発光波長と、井戸層 17 の A I 組成 X_1 及び層厚との関係に基づいて、 $660\text{ nm} \sim 850\text{ nm}$ の範囲内の所望の発光波長が得られるように、井戸層 17 の A I 組成 X_1 と層厚を決めることができる。

例えば、井戸層 17 の A I 組成 X_1 を $0.20 \leq X_1 \leq 0.36$ とし、井戸層 17 の厚さを $3 \sim 30\text{ nm}$ とすることにより、発光波長が $660 \sim 760\text{ nm}$ の発光ダイオードを作製することができる。

また、井戸層 17 の A l 組成 X_1 を $0 \leq X_1 \leq 0.2$ とし、井戸層 17 の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とすることにより、発光波長が $760 \sim 850 \text{ nm}$ の発光ダイオードを作製することができる。

[0031] バリア層 18 は、組成式 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{As}$ ($0 < X \leq 1$) の化合物半導体からなる。X は、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。また、結晶性の観点から Al 濃度は低いのが好ましい。従って、X は $0.1 \sim 0.4$ の範囲がより好ましい。最適な X の組成は井戸層の組成との関係で決まる。結晶性を向上させて欠陥を少なくすると、光の吸収が抑制され、その結果、発光出力の向上を図ることができる。

[0032] 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。

[0033] 本発明の発光ダイオードにおいて、活性層 11 をなす量子井戸構造の井戸層 17 とバリア層 18 とを交互に積層する対の数は 5 以下であり、1 対でも構わない。

この構成により、キャリアの閉じ込め効果を増大し、電子と正孔の発光再結合確率が大きくして、 25 nsec 以下の高速の応答速度（立ち上がり時間）を確保した。

後述する実施例で示すように、井戸層 17 及びバリア層 18 のペア数を 5 対から 1 対に少なくするほど、応答速度は高速になった。実施例で示した条件ではペア数が 1 対のときに最高速の 17 nsec を実現した。

量子井戸層の数が少ないほど、電子と正孔が閉じ込められる領域が狭くなるために、発光再結合確率が高くなり、その結果、応答速度が高速化する。

[0034] なお、井戸層 17 とバリア層 18 の数を減らすと PN 接合の接合容量（キャパシタンス）は、大きくなる。これは、井戸層 17 とバリア層 18 はアン

ドープ、または低いキャリア濃度とされるのでp n接合において空乏層として機能し、空乏層が薄いほどキャパシタンスが大きくなることに起因する。

一般に応答速度を早くするためにはキャパシタンスが小さい方が望ましいが、本発明の構造では、井戸層17とバリア層18の数を少なくすることにより、キャパシタンスが大きくなるにもかかわらず応答速度が早くなる効果が見出された。

これは、井戸層17とバリア層18の数を少なくすることによる注入キャリアの再結合速度が速くなる効果がより大きいためであると推定される。

[0035] 活性層11と下部クラッド層9又は上部クラッド層13との接合面積は20000～90000 μm^2 であるのが好ましい。

[0036] 活性層11と下部クラッド層9又は上部クラッド層13との接合面積を90000 μm^2 以下とすることで、電流密度が高くなり、発光再結合確率が増大して応答速度が向上する。

例えば、後述する実施例で示すように、活性層11と下部クラッド層9又は上部クラッド層13との接合面積を123000 μm^2 (350 $\mu\text{m} \times 350\mu\text{m}$)とした場合とそれより狭く53000 μm^2 (230 $\mu\text{m} \times 230\mu\text{m}$)とした場合とでは、後者の方が、井戸層17及びバリア層18のペア数が5ペアのときで10%程度応答速度が向上し、また、ペア数が1ペアのときは、20%応答速度が向上した。

[0037] 他方、活性層11と下部クラッド層9又は上部クラッド層13との接合面積を20000 μm^2 以上とすることで、発光出力の大きな低下がなく、高出力が担保される。

例えば、後述する実施例で示すように、活性層11と下部クラッド層9又は上部クラッド層13との接合面積を53000 μm^2 とした場合に、井戸層17及びバリア層18のペア数が5ペアのときに発光出力9.6mW (応答速度22ns)で、1ペアのときでも発光出力9mW (応答速度15ns)という高い発光出力を維持できた。

[0038] 下部ガイド層10及び上部ガイド層12は、図4に示すように、活性層1

1の下面及び上面にそれぞれ設けられている。具体的には、活性層11の下面に下部ガイド層10が設けられ、活性層11の上面に上部ガイド層12が設けられている。

[0039] 下部ガイド層10および上部ガイド層12は、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)の組成を有している。Al組成Xは、バリア層18よりもバンドギャップが等しいか又は大きくなる組成とすることが好ましく、0.2～0.6の範囲がより好ましい。結晶性の観点から最適なXの組成は井戸層の組成との関係で決まる。結晶性を向上させて欠陥を少なくすると、光の吸収が抑制され、その結果、発光出力の向上を図ることができる。

[0040] 表5に、井戸層17の層厚7nmのときの発光波長の発光出力を最大にするバリア層18とガイド層のAl組成Xを示す。バリア層及びガイド層は井戸層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が、結晶性を高めて発光出力を向上させるために井戸層の組成との関係で最適な組成が定まる。結晶性を向上させて欠陥を少なくすると、光の吸収が抑制され、その結果、発光出力の向上を図ることができる。

[表5]

ピーク波長(nm)	井戸(x)	バリア(x)	ガイド(x)
680	0.27	0.4	0.5
700	0.23	0.35	0.45
730	0.17	0.3	0.4
760	0.12	0.25	0.35
800	0.05	0.15	0.25
830	0.02	0.15	0.25
850	0	0.1	0.2

[0041] 下部ガイド層10及び上部ガイド層12はそれぞれ、下部クラッド層9及び上部クラッド層13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。すなわち下部ガイド層10、上部ガイド層12及び活性層11のV族構成元素は砒素(As)であるのに対し、本発明では下部クラッド層9及び上部クラッド層13のV族構成元素はリン(P)とするため、界面にお

いて欠陥が生じやすい。活性層 11 への欠陥の伝播は発光ダイオードの性能低下の原因となる。このため下部ガイド層 10 および上部ガイド層 12 の層厚は 10 nm 以上が好ましく、20 nm ~ 100 nm がより好ましい。

[0042] 下部ガイド層 10 及び上部ガイド層 12 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。

[0043] 下部クラッド層 9 及び上部クラッド層 13 は、図 4 に示すように、下部ガイド層 10 の下面及び上部ガイド層 12 上面にそれぞれ設けられている。

[0044] 下部クラッド層 9 及び上部クラッド層 13 は、 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、バリア層 18 よりもバンドギャップの大きい材質が好ましく、下部ガイド層 10 及び上部ガイド層 12 よりもバンドギャップが大きい材質がより好ましい。上記材質としては、 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の Al 組成 x_2 が、0.3 ~ 0.7 である組成を有することが好ましい。また、 y_1 は 0.4 ~ 0.6 とすることが好ましい。

[0045] 下部クラッド層 9 と上部クラッド層 13 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 9 及び上部クラッド層 13 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。また、下部クラッド層 9 及び上部クラッド層 13 の組成を制御することによって、化合物半導体層 2 の反りを低減させることができる。

[0046] 具体的には、下部クラッド層 9 としては、例えば、Mg をドープした p 型の $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0.3 \leq x_2 \leq 0.7$, $0.4 \leq y_1 \leq 0.6$) からなる半導体材料を用いることが望ましい。また、キャリア濃度は $2 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲が好ましく、層厚は 0.1 ~ 1 μm の範囲が好ましい。

[0047] 一方、上部クラッド層 13 としては、例えば、Si をドープした n 型の (

$\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{In}_{y_1}\text{P}$ ($0.3 \leq x_2 \leq 0.7$, $0.4 \leq y_1 \leq 0.6$) からなる半導体材料を用いることが望ましい。また、キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲が好ましく、層厚は $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ の範囲が好ましい。なお、下部クラッド層 9 及び上部クラッド層 13 の極性は、化合物半導体層 2 の素子構造を考慮して選択することができる。

[0048] また、発光部 7 の構成層の上方には、オーミック (Ohmic) 電極の接触抵抗を下げるためのコンタクト層、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。

[0049] 電流拡散層 8 は、図 4 に示すように、発光部 7 の下方に設けられている。この電流拡散層 8 は、GaAs 基板上に化合物半導体層 2 をエピタキシャル成長させる際に、活性層 11 によって生じた歪を緩和させる。

また、電流拡散層 8 は、発光部 7 (活性層 11) からの発光波長に対して透明である材料、例えば、GaP を適用することができる。電流拡散層 8 に GaP を適用する場合、機能性基板 3 を GaP 基板とすることにより、接合を容易にし、高い接合強度を得ることができる。

また、電流拡散層 8 の厚さは $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$ の範囲であることが好ましい。 $0.5 \mu\text{m}$ 以下であると電流拡散が不十分であり、 $20 \mu\text{m}$ 以上であるとその厚さまで結晶成長させるためのコストが増大するからである。電流拡散層 8 の厚さは、より好ましくは $5 \sim 15 \mu\text{m}$ の範囲である。

[0050] 機能性基板 3 は、化合物半導体層 2 の主たる光取り出し面と反対側の面に接合されている。すなわち、機能性基板 3 は、図 4 に示すように、化合物半導体層 2 を構成する電流拡散層 8 側に接合される。この機能性基板 3 は、発光部 7 を機械的に支持するのに十分な強度を有し、且つ、発光部 7 から出射される発光を透過でき、活性層 11 からの発光波長に対して光学的に透明な材料から構成する。また、耐湿性に優れた化学的に安定な材質が、望ましい。例えば、腐食しやすい Al 等を含有しない材質である。

機能性基板 3 は GaP、サファイア又は SiC からなるのが好ましい。ま

た、機能性基板 3 は、発光部 7 を機械的に十分な強度で支持するために、例えば約 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚みとすることが好ましい。また、化合物半導体層 2 へ接合した後に機能性基板 3 への機械的な加工を施し易くするため、約 $300\text{ }\mu\text{m}$ の厚さを超えないものとするのが好ましい。

すなわち、機能性基板 3 は、約 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上約 $300\text{ }\mu\text{m}$ 以下の厚さを有する透明度、コスト面から n 型 GaP 基板から構成するのが最も好ましい。

[0051] また、図 4 に示すように、機能性基板 3 の側面は、化合物半導体層 2 に近い側において主たる光取り出し面に対して略垂直である垂直面 3 a とされており、化合物半導体層 2 に遠い側において主たる光取り出し面に対して内側に傾斜した傾斜面 3 b とされている。これにより、活性層 11 から機能性基板 3 側に放出された光を効率よく外部に取り出すことができる。また、活性層 11 から機能性基板 3 側に放出された光のうち、一部は垂直面 3 a で反射され傾斜面 3 b で取り出すことができる。一方、傾斜面 3 b で反射された光は垂直面 3 a で取り出すことができる。このように、垂直面 3 a と傾斜面 3 b との相乗効果により、光の取り出し効率を高めることができる。

[0052] また、本実施形態では、図 4 に示すように、傾斜面 3 b と発光面に平行な面とのなす角度 α を、 55度 ～ 80度 の範囲内とすることが好ましい。このような範囲とすることで、機能性基板 3 の底部で反射された光を効率よく外部に取り出すことができる。

また、垂直面 3 a の幅（厚さ方向）を、 $30\text{ }\mu\text{m}$ ～ $100\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすることが好ましい。垂直面 3 a の幅を上記範囲内にすることで、機能性基板 3 の底部で反射された光を垂直面 3 a において効率よく発光面に戻すことができ、さらには、主たる光取り出し面から放出させることが可能となる。このため、発光ダイオード 1 の発光効率を高めることができる。

[0053] また、機能性基板 3 の傾斜面 3 b は粗面化されているのが好ましい。傾斜面 3 b が粗面化されていることにより、この傾斜面 3 b での光取り出し効率を上げる効果が得られる。すなわち、傾斜面 3 b を粗面化することにより、傾斜面 3 b での全反射を抑制して、光取り出し効率を上げることができる。

なお、粗面化とは、化学的処理などにより、表面に微小な凹凸を形成することをいう。

[0054] 化合物半導体層 2 と機能性基板 3 との接合界面は、高抵抗層となっている場合がある。

すなわち、化合物半導体層 2 と機能性基板 3 との間には、図示略の高抵抗層が形成されている場合がある。この高抵抗層は、機能性基板 3 よりも高い抵抗値を示し、高抵抗層が形成されている場合には化合物半導体層 2 の電流拡散層 8 側から機能性基板 3 側への逆方向の電流を低減する機能を有している。また、機能性基板 3 側から電流拡散層 8 側へと不用意に印加される逆方向の電圧に対して耐電圧性を発揮する接合構造を構成しているが、その降伏電圧は、 $p-n$ 接合型の発光部 7 の逆方向電圧より低値となる様に構成するのが好ましい。

[0055] n 型オーミック電極（第 1 の電極）4 および p 型オーミック電極（第 2 の電極）5 は、発光ダイオード 1 の主たる光取り出し面に設けられた低抵抗のオーミック接触電極である。

ここで、 n 型オーミック電極 4 は、上部クラッド層 13 の上方に設けられており、例えば、 $AuGe$ 、 Ni 合金/ Au からなる合金を用いることができる。一方、 p 型オーミック電極 5 は、図 4 に示すように、露出させた電流拡散層 8 の表面に $AuBe$ / Au 、または $AuZn$ / Au からなる合金を用いることができる。

[0056] 本実施形態の発光ダイオード 1 では、第 2 の電極として p 型オーミック電極 5 を、電流拡散層 8 上に形成するのが好ましい。このような構成とすることにより、作動電圧を下げる効果が得られる。また、 p 型オーミック電極 5 を p 型 GaP からなる電流拡散層 8 上に形成することにより、良好なオーミックコンタクトが得られるため、作動電圧を下げるができる。

[0057] なお、本実施形態では、第 1 の電極の極性を n 型とし、第 2 の電極の極性を p 型とするのが好ましい。このような構成とすることにより、発光ダイオード 1 の高輝度化を達成することができる。一方、第 1 の電極を p 型とする

と、電流拡散が悪くなり、輝度の低下を招く。これに対して、第1の電極をn型とすることにより、電流拡散が良くなり、発光ダイオード1の高輝度化を達成することができる。

[0058] 本実施形態の発光ダイオード1では、図3に示すように、n型オーミック電極4とp型オーミック電極5とが対角の位置となるように配置することが好ましい。また、p型オーミック電極5の周囲を、化合物半導体層2で囲んだ構成とすることが最も好ましい。このような構成とすることにより、作動電圧を下げる効果が得られる。また、p型オーミック電極5の四方をn型オーミック電極4で囲むことにより、電流が四方に流れやすくなり、その結果作動電圧が低下する。

[0059] また、本実施形態の発光ダイオード1では、図3に示すように、n型オーミック電極4を、ハニカム、格子形状など網目とすることが好ましい。このような構成とすることにより、信頼性を向上させる効果が得られる。また、格子状とすることにより、活性層11に均一に電流を注入することができ、その結果、信頼性を向上させる効果が得られる。なお、本実施形態の発光ダイオード1では、n型オーミック電極4を、パッド形状の電極（パッド電極）と幅10 μ m以下の線状の電極（線状電極）とで構成することが好ましい。このような構成とすることにより、高輝度化をはかることができる。さらに、線状電極の幅を狭くすることにより、光取り出し面の開口面積を上げることができ、高輝度化を達成することができる。

[0060] <発光ダイオードの製造方法>

次に、本実施形態の発光ダイオード1の製造方法について説明する。図6は、本実施形態の発光ダイオード1に用いるエピウェーハの断面図である。また、図7は、本実施形態の発光ダイオード1に用いる接合ウェーハの断面図である。

[0061] （化合物半導体層の形成工程）

先ず、図6に示すように、化合物半導体層2を作製する。化合物半導体層2は、GaAs基板14上に、GaAsからなる緩衝層15、選択エッチン

グに利用するために設けられたエッチングストップ層（図示略）、Siをドーピングしたn型のAlGaAsからなるコンタクト層16、n型の上部クラッド層13、上部ガイド層12、活性層11、下部ガイド層10、p型の下部クラッド層9、Mgドーピングしたp型GaPからなる電流拡散層8を順次積層して作製する。

[0062] GaAs基板14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14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14の表面の面方位は、エピタキシャル成長しやすく、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14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。

[0063] GaAs基板14の転位密度は、化合物半導体層2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。

[0064] GaAs基板14は、n型であってもp型であっても良い。GaAs基板14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14がシリコンドーピングの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14が亜鉛をドーピングした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。

[0065] GaAs基板14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14の厚さが適切な範囲よりも薄いと、化合物半導体層2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14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14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 $250 \sim 500 \mu\text{m}$ の厚さが望ま

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

[0066] このように、GaAs基板14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11に起因する化合物半導体層2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11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14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。

[0067] 緩衝層(buffer)15は、GaAs基板14と発光部7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15は、必ずしも必要ではない。また、緩衝層15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。したがって、本実施形態では、緩衝層15には、GaAs基板14と同じくGaAsを用いることが好ましい。また、緩衝層15には、欠陥の伝搬を低減するためにGaAs基板14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15の厚さは、0.1 μm 以上とすることが好ましく、0.2 μm 以上とすることがより好ましい。

[0068] コンタクト層16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16の材質は、活性層11よりバンドギャップの大きい材質であることが好ましく、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) が好適である。また、コンタクト層16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、0.5 μm 以上が好ましく、1 μm 以上が最適である。コンタクト層16の厚さの上限値は特に限定されていないが、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、5 μm 以下とすることが望ましい。

[0069] 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2のエピタキシャル成長に使用するGaAs基板14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2を構成する各層は、直径50～150mmのGaAs基板14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。

[0070] 上記化合物半導体層2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エニルマグネシウム（ $\text{bis}-(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$ ）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。また、各層の成長温度としては、電流拡散層8としてp型GaPを用いる場合は、720～770℃を適用することができ、その他の各層では600～700℃を適用することができる。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。

[0071] このようにして製造した化合物半導体層2は、発光部7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2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。

[0072] （機能性基板の接合工程）

次に、化合物半導体層2と機能性基板3とを接合する。化合物半導体層2と機能性基板3との接合は、先ず、化合物半導体層2を構成する電流拡散層8の表面を研磨して、鏡面加工する。次に、この電流拡散層8の鏡面研磨し

た表面に貼付する機能性基板 3 を用意する。なお、この機能性基板 3 の表面は、電流拡散層 8 に接合させる以前に鏡面に研磨する。次に、一般の半導体材料貼付装置に、化合物半導体層 2 と機能性基板 3 とを搬入し、真空中で鏡面研磨した双方の表面に電子を衝突させて中性（ニュートラル）化した Ar ビームを照射する。その後、真空を維持した貼付装置内で双方の表面を重ね合わせて荷重をかけることで、室温で接合することができる（図 7 参照）。接合に関しては、接合条件の安定性から、接合面が同じ材質がより望ましい。

接合（貼り付け）はこのような真空下での常温接合が最適であるが、共晶金属、接着剤を用いて接合することもできる。

[0073] （第 1 及び第 2 の電極の形成工程）

次に、第 1 の電極である n 型オーミック電極 4 及び第 2 の電極である p 型オーミック電極 5 を形成する。n 型オーミック電極 4 及び p 型オーミック電極 5 の形成は、先ず、機能性基板 3 と接合した化合物半導体層 2 から、GaAs 基板 1 4 及び緩衝層 1 5 をアンモニア系エッチャントによって選択的に除去する。次に、露出したコンタクト層 1 6 の表面に n 型オーミック電極 4 を形成する。具体的には、例えば、AuGe、Ni 合金/Pt/Au を任意の厚さとなるように真空蒸着法により積層した後、一般的なフォトリソグラフィー手段を利用してパターニングを行って n 型オーミック電極 4 の形状を形成する。

[0074] 次に、コンタクト層 1 6、上部クラッド層 1 3、上部ガイド層 1 2、活性層 1 1、下部ガイド層 1 0、p 型の下部クラッド層 9 を選択的に除去して電流拡散層 8 を露出させ、この露出した電流拡散層 8 の表面に p 型オーミック電極 5 を形成する。具体的には、例えば、AuBe/Au を任意の厚さとなるように真空蒸着法により積層した後、一般的なフォトリソグラフィー手段を利用してパターニングを行って p 型オーミック電極 5 の形状を形成する。その後、例えば 400～500℃、5～20 分間の条件で熱処理を行って合金化することにより、低抵抗の n 型オーミック電極 4 及び p 型オーミック電

極 5 を形成することができる。

[0075] (機能性基板の加工工程)

次に、機能性基板 3 の形状を加工する。機能性基板 3 の加工は、先ず、第 3 の電極 6 を形成していない表面に V 字状の溝入れを行う。この際、V 字状の溝の第 3 の電極 6 側の内側面が発光面に平行な面とのなす角度 α を有する傾斜面 3 b となる。次に、化合物半導体層 2 側から所定の間隔でダイシングを行ってチップ化する。なお、チップ化の際のダイシングによって機能性基板 3 の垂直面 3 a が形成される。

[0076] 傾斜面 3 b の形成方法は、特に限定されるものではなく、ウェットエッチング、ドライエッチング、スクライブ法、レーザー加工などの従来からの方法を組み合わせて用いることができるが、形状の制御性及び生産性の高いダイシング法を適用することが最も好ましい。ダイシング法を適用することにより、製造歩留まりを向上することができる。

[0077] また、垂直面 3 a の形成方法は、特に限定されるものではないが、レーザー加工、スクライブ・ブレイク法又はダイシング法で形成するのが好ましい。レーザー加工、スクライブ・ブレイク法を採用することにより、製造コストを低下させることができる。すなわち、チップ分離の際に切りしろを設ける必要なく、数多くの発光ダイオードが製造できるため製造コストを下げるることができる。一方、ダイシング法では、切断の安定性に優れている。

[0078] 最後に、破碎層及び汚れを必要に応じて硫酸・過酸化水素混合液等でエッチング除去する。このようにして発光ダイオード 1 を製造する。

[0079] <発光ダイオードランプの製造方法>

次に、上記発光ダイオード 1 を用いた発光ダイオードランプ 4 1 の製造方法、すなわち、発光ダイオード 1 の実装方法について説明する。

図 1 及び図 2 に示すように、マウント基板 4 2 の表面に所定の数量の発光ダイオード 1 を実装する。発光ダイオード 1 の実装は、先ず、マウント基板 4 2 と発光ダイオード 1 との位置合わせを行い、マウント基板 4 2 の表面の所定の位置に発光ダイオード 1 を配置する。次に、A g ペーストでダイボン

ドし、発光ダイオード1がマウント基板42の表面に固定される。次に、発光ダイオード1のn型オーミック電極4とマウント基板42のn電極端子43とを金線45を用いて接続する（ワイヤボンディング）。次に、発光ダイオード1のp型オーミック電極5とマウント基板42のp電極端子44とを金線46を用いて接続する。最後に、マウント基板42の発光ダイオード1が実装された表面を、シリコン樹脂やエポキシ樹脂等の一般的な封止樹脂47によって封止する。このようにして、発光ダイオード1を用いた発光ダイオードランプ41を製造する。

[0080] また、発光ダイオードランプ41の発光スペクトルは、活性層11の組成が調整されているため、ピーク発光波長が660～850nmの範囲となる。また、電流拡散層8によって井戸層17及びバリア層18の活性層11内のばらつきが抑制されているため、発光スペクトルの半値幅が、10～40nmの範囲となる。

[0081] 以上説明したように、本実施形態の発光ダイオード1によれば、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})As$ ($0 \leq x1 \leq 1$) からなる井戸層17を有する発光部7を含む化合物半導体層2を備えている。

[0082] また、本実施形態の発光ダイオード1には、発光部7上に電流拡散層8が設けられている。この電流拡散層8は、発光波長に対して透明であるため、発光部7からの発光を吸収することなく高出力・高効率の発光ダイオード1とすることができる。機能性基板は、材質的に安定で、腐食の心配がなく耐湿性に優れる。

[0083] したがって、本実施形態の発光ダイオード1によれば、活性層の条件を調整すれば660～850nmの発光波長を有し、単色性に優れると共に、高出力・高効率であって耐湿性の発光ダイオード1を提供することができる。また、本実施形態の発光ダイオード1によれば、従来の液相エピタキシャル法で作製したGaAs基板を除去した透明基板型AlGaAs系の発光ダイオードと比較して、少なくとも1.5倍以上の発光出力を有する高出力赤外発光ダイオード1を提供することができる。

[0084] また、本実施形態の発光ダイオードランプ 4 1 によれば、単色性に優れると共に、高出力・高効率であって耐湿性の上記発光ダイオード 1 を備えている。このため、赤外線照明、センサーに適した発光ダイオードランプ 4 1 を提供することができる。

[0085] <発光ダイオード（第 2 の実施形態）>

本発明を適用した第 2 の実施形態に係る発光ダイオードは、第 1 の実施形態に係る発光ダイオードにおける AlGaAs バリア層 1 8 を、組成式 $(\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3})_{y2}\text{In}_{1-y2}\text{P}$ ($0 \leq x3 \leq 1$, $0 < y2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とした点が異なる。

[0086] バリア層は、組成式 $(\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3})_{y2}\text{In}_{1-y2}\text{P}$ ($0 \leq x3 \leq 1$, $0 < y2 \leq 1$) の化合物半導体からなる。

Al 組成 $x3$ は、井戸層よりもバンドギャップが大きくなる組成とすることが好ましく、具体的には $0 \sim 0.2$ の範囲が好ましい。

また、 $y2$ は、基板との格子不整によるひずみの発生を防止する為に $0.4 \sim 0.6$ とするのが好ましく、 $0.45 \sim 0.55$ の範囲がより好ましい。

バリア層の層厚は、井戸層の層厚と等しいか又は井戸層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。

[0087] <発光ダイオード（第 3 の実施形態）>

図 8 A 及び B は、本発明を適用した第 3 の実施形態に係る発光ダイオードを説明するための図であり、図 8 A は平面図、図 8 B は図 8 A 中に示す C-C' 線に沿った断面図である。

第 3 の実施形態に係る発光ダイオード 2 0 は、組成式 $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})\text{As}$ ($0 \leq x1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層 1 1 と、前記活性層 1 1 を挟む第 1 のクラッ

ド層 9 と第 2 のクラッド層 13 とを有する発光部と、発光部上に形成された電流拡散層 8 と、発光部に対向して配置して発光波長に対して 90% 以上の反射率を有する反射層 23 を含み、電流拡散層 8 に接合された機能性基板 31 とを備え、第 1 及び第 2 のクラッド層を組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、井戸層及びバリア層のペア数が 5 以下であることを特徴とする。

[0088] 第 3 の実施形態に係る発光ダイオード 20 では、発光波長に対して 90% 以上の反射率を有し、発光部に対向して配置する反射層 23 を備えた機能性基板 31 を有するので、主たる光取り出し面から効率的に光を取り出すことができる。

図 8B に示した例では、機能性基板 31 は、電流拡散層 8 の下側の面 8b に、第 2 の電極 21 を備え、さらにその第 2 の電極 21 を覆うように透明導電膜 22 と反射層 23 とが積層されてなる反射構造体と、シリコン又はゲルマニウムからなる層(基板) 30 を備えている。また、第 2 のクラッド層 13 の上側に形成されたコンタクト層 16 上に第 1 の電極 25 を備えている。

[0089] 第 3 の実施形態に係る発光ダイオードにおいては、機能性基板 31 はシリコンまたはゲルマニウムからなる層を含むのが好ましい。腐食しにくい材質である為、耐湿性が向上するからである。

[0090] 反射層 23 は例えば、銀 (Ag)、アルミニウム (Al)、金 (Au) 又はこれらの合金などにより構成される。これらの材料は光反射率が高く、反射層 23 からの光反射率を 90% 以上とすることができる。

機能性基板 31 は、この反射層 23 に、AuIn、AuGe、AuSn 等の共晶金属で、シリコン、ゲルマニウム等の安価な基板(層)に接合する組み合わせを用いることができる。特に AuIn は、接合温度が低く、熱膨張係数が発光部と差があるが、最も安価なシリコン基板(シリコン層)を接合するには最適な組み合わせである。

機能性基板 31 はさらに、電流拡散層、反射層金属および共晶金属が相互拡散しないよう、例えば、チタン (Ti)、タングステン (W)、白金 (P

t) などの高融点金属からなる層を挿入された構成とすることも品質の安定性から望ましい。

[0091] <発光ダイオード（第4の実施形態）>

図11は、本発明を適用した第4の実施形態に係る発光ダイオードを説明するための図である。

本発明を適用した第4の実施形態に係る発光ダイオードは、組成式 $(Al_xGa_{1-x})As$ ($0 \leq x \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層11と、前記活性層を挟む第1のクラッド層9と第2のクラッド層13とを有する発光部と、発光部上に形成された電流拡散層8と、発光部に対向して配置して発光波長に対して90%以上の反射率を有する反射層53と金属基板50とを含み、電流拡散層8に接合された機能性基板51とを備え、第1及び第2のクラッド層9、13は組成式 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})In_{y1}P$ ($0 \leq x2 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする。

[0092] 第4の実施形態に係る発光ダイオードでは、機能性基板が金属基板を含む点が第3の実施形態に係る発光ダイオードに対して特徴的な構成である。

金属基板は放熱性が高く、発光ダイオードを高輝度で発光するのに寄与すると共に、発光ダイオードの寿命を長寿命とすることができる。

放熱性の観点からは、金属基板は熱伝導率が $130 W/m \cdot K$ 以上の金属からなるのが特に好ましい。熱伝導率が $130 W/m \cdot K$ 以上の金属としては、例えば、モリブデン ($138 W/m \cdot K$) やタングステン ($174 W/m \cdot K$) がある。

[0093] 図11に示すように、化合物半導体層2は、活性層11と、ガイド層（図示せず）を介してその活性層11を挟む第1のクラッド層（下部クラッド）9及び第2のクラッド層（上部クラッド）13と、第1のクラッド層（下部クラッド）9の下側に電流拡散層8と、第2のクラッド層（上部クラッド）13の上側に第1の電極55と平面視してほぼ同じサイズのコンタクト層5

6とを有する。なお、コンタクト層56は図8Bに示したように、第2のクラッド層（上部クラッド）13全面に形成されたものでも構わない。

機能性基板51は、電流拡散層8の下側の面8bに、第2の電極57を備え、さらにその第2の電極57を覆うように透明導電膜52と反射層53とが積層されてなる反射構造体と、金属基板50とからなり、反射構造体を構成する反射層53の化合物半導体層2と反対側の面53bに、金属基板50の接合面50aが接合されている。

[0094] 反射層53は例えば、銅、銀、金、アルミニウムなどの金属又はこれらの合金などにより構成される。これらの材料は光反射率が高く、反射構造体からの光反射率を90%以上とすることができる。反射層53を形成することにより、活性層11からの光を反射層53で正面方向fへ反射させて、正面方向fでの光取り出し効率を向上させることができる。これにより、発光ダイオードをより高輝度化できる。

[0095] 反射層53は、透明導電膜52側からAg、Ni/Tiバリヤ層、Au系の共晶金属（接続用金属）からなる積層構造が好ましい。

上記接続用金属は、電気抵抗が低く、低温で溶融する金属である。上記接続用金属を用いることにより、化合物半導体層2に熱ストレスを与えることなく、金属基板を接続することができる。

接続用金属としては、化学的に安定で、融点の低いAu系の共晶金属などが用いられる。上記Au系の共晶金属としては、例えば、AuSn、AuGe、AuSiなどの合金の共晶組成（Au系の共晶金属）を挙げることができる。

また、接続用金属には、チタン、クロム、タングステンなどの金属を添加することが好ましい。これにより、チタン、クロム、タングステンなどの金属がバリヤ金属として機能して、金属基板に含まれる不純物などが反射層53側に拡散して、反応することを抑制できる。

[0096] 透明導電膜52は、ITO膜、IZO膜などにより構成されている。なお、反射構造体は、反射層53だけで構成してもよい。

また、透明導電膜 5 2 の代わりに、または、透明導電膜 5 2 とともに、透明な材料の屈折率差を利用したいわゆるコールドミラー、例えば、酸化チタン膜、酸化ケイ素膜の多層膜や白色のアルミナ、AlNを用いて、反射層 5 3 に組み合わせてもよい。

[0097] 金属基板 5 0 は複数の金属層からなるものを用いることができる。

金属基板は 2 種類の金属層が交互に積層されてなるのが好ましい。

特に、この 2 種類の金属層の層数は合わせて奇数とするのが好ましい。

[0098] この場合、金属基板の反りや割れの観点から、第 2 の金属層 5 0 B として化合物半導体層 2 より熱膨張係数が小さい材料を用いるときは、第 1 の金属層 5 0 A、5 0 A を化合物半導体層 2 より熱膨張係数が大きい材料からなるものを用いるのが好ましい。金属基板全体としての熱膨張係数が化合物半導体層の熱膨張係数に近いものとなるため、化合物半導体層と金属基板とを接合する際の金属基板の反りや割れを抑制することができ、発光ダイオードの製造歩留まりを向上させることができるからである。同様に、第 2 の金属層 5 0 B として化合物半導体層 2 より熱膨張係数が大きい材料を用いるときは、第 1 の金属層 5 0 A、5 0 A を化合物半導体層 2 より熱膨張係数が小さい材料からなるものを用いるのが好ましい。金属基板全体としての熱膨張係数が化合物半導体層の熱膨張係数に近いものとなるため、化合物半導体層と金属基板とを接合する際の金属基板の反りや割れを抑制でき、発光ダイオードの製造歩留まりを向上できるからである。

以上の観点からは、2 種類の金属層はいずれが第 1 の金属層でも第 2 の金属層でも構わない。

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

K) およびこれらの合金のいずれかからなる金属層との組み合わせを用いることができる。

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

[0099] 金属基板全体としての熱膨張係数は例えば、Cu (30 μ m) / Mo (25 μ m) / Cu (30 μ m) の3層からなる金属基板では6.1 ppm/Kであり、Mo (25 μ m) / Cu (70 μ m) / Mo (25 μ m) の3層からなる金属基板では5.7 ppm/Kとなる。

[0100] また、放熱の観点からは、金属基板を構成する金属層は熱伝導率が高い材料からなるのが好ましい。これにより、金属基板の放熱性を高くして、発光ダイオードを高輝度で発光させることができるとともに、発光ダイオードの寿命を長寿命とすることができるからである。

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

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

金属基板全体としての熱伝導率は例えば、Cu (30 μ m) / Mo (25

$\mu\text{m}) / \text{Cu} (30 \mu\text{m})$ の3層からなる金属基板では $250 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ となり、 $\text{Mo} (25 \mu\text{m}) / \text{Cu} (70 \mu\text{m}) / \text{Mo} (25 \mu\text{m})$ の3層からなる金属基板では $220 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ となる。

[0101] <発光ダイオード（第5の実施形態）>

本発明を適用した第5の実施形態に係る発光ダイオードは、組成式 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層と、組成式 $(\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})_{y_2}\text{In}_{1-y_2}\text{P}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$, $0 < y_2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層と、活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、発光部上に形成された電流拡散層と、発光部に対向して配置して発光波長に対して90%以上の反射率を有する反射層を含み、電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、第1及び第2のクラッド層は組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする。

第5の実施形態に係る発光ダイオードは、第3の実施形態に係る発光ダイオードにおいて AlGaAs バリア層を、組成式 $(\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})_{y_2}\text{In}_{1-y_2}\text{P}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$, $0 < y_2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とした構成である。

[0102] バリア層は、組成式 $(\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})_{y_2}\text{In}_{1-y_2}\text{P}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$, $0 < y_2 \leq 1$) の化合物半導体からなる。

Al 組成 x_3 は、井戸層よりもバンドギャップが大きくなる組成とすることが好ましく、具体的には $0 \sim 0.2$ の範囲が好ましい。

また、 y_2 は、基板との格子不整によるひずみの発生を防止する為に $0.4 \sim 0.6$ とするのが好ましく、 $0.45 \sim 0.55$ の範囲がより好ましい。

バリア層の層厚は、井戸層の層厚と等しいか又は井戸層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増大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。

[0103] 本実施形態に係る発光ダイオードも第3の実施形態と同様に、発光波長に対して90%以上の反射率を有し、発光部に対向して配置する反射層を備えた機能性基板を有するので、主たる光取り出し面から効率的に光を取り出すことができる。

また、本実施形態においても、機能性基板として、第3の実施形態で例示したものを採用することができる。

[0104] <発光ダイオード（第6の実施形態）>

本発明を適用した第6の実施形態に係る発光ダイオードは、組成式 $(Al_xGa_{1-x})As$ ($0 \leq x \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層と、組成式 $(Al_{x3}Ga_{1-x3})_{y2}In_{1-y2}P$ ($0 \leq x3 \leq 1$, $0 < y2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層と、活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、発光部上に形成された電流拡散層と、発光部に対向して配置して発光波長に対して90%以上の反射率を有する反射層と金属基板とを含み、電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、第1及び第2のクラッド層は組成式 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y1}In_{1-y1}P$ ($0 \leq x2 \leq 1$, $0 < y1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする。

第6の実施形態に係る発光ダイオードは、第4の実施形態に係る発光ダイオードにおいて $AlGaAs$ バリア層を、組成式 $(Al_{x3}Ga_{1-x3})_{y2}In_{1-y2}P$ ($0 \leq x3 \leq 1$, $0 < y2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とした構成である。

[0105] 本実施形態に係る発光ダイオードも第3の実施形態と同様に、発光波長に対して90%以上の反射率を有し、発光部に対向して配置する反射層を備えた機能性基板を有するので、主たる光取り出し面から効率的に光を取り出すことができる。

また、本実施形態においても、機能性基板として、第4の実施形態で例示したものをを用いることができる。

実施例

[0106] 以下、本発明の効果を、実施例を用いて具体的に説明する。なお、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、構成の付加、省略、置換、およびその他の変更が可能である。

[0107] 本実施例では、化合物半導体層と機能性基板とを接合させて発光ダイオードを作製し、特性評価のために発光ダイオードランプを作製して、特性評価を行った。

実施例 1

[0108] 実施例1の発光ダイオードは第1の実施形態の実施例であり、活性層とクラッド層との接合面積は $123000\mu\text{m}^2$ ($350\mu\text{m} \times 350\mu\text{m}$)であった。

まず、Siをドーピングしたn型のGaAs単結晶からなるGaAs基板上に、化合物半導体層を順次積層して発光波長730nmのエピタキシャルウェーハを作製した。GaAs基板は、(100)面から(0-1-1)方向に 15° 傾けた面を成長面とし、キャリア濃度を $2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ とした。また、GaAs基板の層厚は、約 $0.5\mu\text{m}$ とした。化合物半導体層としては、SiをドーピングしたGaAsからなるn型の緩衝層、Siをドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるn型のコンタクト層、Siをドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるn型の上部クラッド層、 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなる上部ガイド層、 $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{As} / \text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ の対からなる井戸層／バリア層、 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなる下部ガイド層、Mgをドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるp型の下部クラッド層、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる薄膜の中間層、Mgドーピングしたp型GaPからなる電流拡散層である。

[0109] 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76mm、厚さ $350\mu\text{m}$ 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ーハを形成した。エピタキシャル成長層を成長させる際、Ⅲ族構成元素の原料としては、トリメチルアルミニウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Al}$)、トリメチルガリウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$) 及びトリメチルインジウム ($(\text{CH}_3)_3\text{In}$) を使用した。また、Mgのドーピング原料としては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム ($\text{bis}-(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$) を使用した。また、Siのドーピング原料としては、ジシラン (Si_2H_6) を使用した。また、Ⅴ族構成元素の原料としては、ホスフィン (PH_3)、アルシン (AsH_3) を使用した。また、各層の成長温度としては、p型GaPからなる電流拡散層は、750℃で成長させた。その他の各層では700℃で成長させた。

[0110] 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。コンタクト層は、キャリア濃度を約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $3.5 \mu\text{m}$ とした。上部クラッド層は、キャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $0.5 \mu\text{m}$ とした。上部ガイド層は、アンドープで層厚を約 50 nm とした。井戸層は、アンドープで層厚が約 7 nm の $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{As}$ とし、バリア層はアンドープで層厚が約 19 nm の $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ とした。また、井戸層及びバリア層のペア数を1対とした。下部ガイド層は、アンドープで層厚を約 50 nm とした。下部クラッド層は、キャリア濃度を約 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $0.5 \mu\text{m}$ とした。中間層は、キャリア濃度を約 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $0.05 \mu\text{m}$ とした。GaPからなる電流拡散層は、キャリア濃度を約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $9 \mu\text{m}$ とした。

[0111] 次に、電流拡散層を表面から約 $1 \mu\text{m}$ の深さに至る領域まで研磨して、鏡面加工した。

この鏡面加工によって、電流拡散層の表面の粗さを 0.18 nm とした。一方、上記の電流拡散層の鏡面研磨した表面に貼付するn型GaPからなる機能性基板を用意した。この貼付用の機能性基板には、キャリア濃度が約 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となる様にSiを添加し、面方位を (111) とした単結晶を

用いた。また、機能性基板の直径は76mmで、厚さは250 μ mであった。この機能性基板の表面は、電流拡散層に接合させる以前に鏡面に研磨し、二乗平均平方根（rms）にして0.12nmに仕上げておいた。

[0112] 次に、一般の半導体材料貼付装置に、上記の機能性基板及びエピタキシャルウェーハを搬入し、 3×10^{-5} Paとなるまで装置内を真空中に排気した。

[0113] 次に、機能性基板、及び電流拡散層の双方の表面に、電子を衝突させて中性（ニュートラル）化したArビームを3分間に亘り照射した。その後、真空中に維持した貼付装置内で、機能性基板及び電流拡散層の表面を重ね合わせ、各々の表面での圧力が50g/cm²となる様に荷重を掛け、双方を室温で接合した。このようにして接合ウェーハを形成した。

[0114] 次に、上記接合ウェーハから、GaAs基板およびGaAs緩衝層をアンモニア系エッチャントにより選択的に除去した。次に、コンタクト層の表面に第1の電極として、AuGe、Ni合金を厚さが0.5 μ m、Ptを0.2 μ m、Auを1 μ mとなるように真空蒸着法によって成膜した。その後、一般的なフォトリソグラフィー手段を利用してパターニングを施し、第1の電極としてn型オーミック電極を形成した。次に、GaAs基板を除去した面である光取り出し面の表面に粗面化処理を施した。

[0115] 次に、第2の電極としてp型オーミック電極を形成する領域のエピタキシャル層を選択的に除去し、電流拡散層を露出させた。この露出した電流拡散層の表面に、AuBeを0.2 μ m、Auを1 μ mとなるように真空蒸着法でp形オーミック電極を形成した。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。次に、厚さ0.2 μ mのAuからなる230 μ m $\square$ の第3の電極を機能性基板に形成した。

[0116] 次に、ダイシングソーを用いて、機能性基板の裏面から、第3の電極を形成していない領域を傾斜面の角度 α が70°となると共に垂直面の厚さが130 μ mとなるようにV字状の溝入れを行った。次に、化合物半導体層側からダイシングソーを用い350 μ m間隔で切断し、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チング除去して、実施例 1 の発光ダイオードを作製した。

[0117] 上記の様に作製した実施例 1 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、発光ダイオードの n 型オーミック電極とマウント基板の表面に設けた n 電極端子とを金線でワイヤボンディングし、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。

[0118] 発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果を表 6 及び図 9、図 10 に示す。図 9 は、活性層とクラッド層との接合面積が $123000\mu\text{m}^2$ の場合の発光ダイオードのペア数と出力及び応答速度との関係を示すグラフである。また、図 10 は、活性層とクラッド層との接合面積が $53000\mu\text{m}^2$ の場合の発光ダイオードのペア数と出力及び応答速度との関係を示すグラフである。

表 6 に示すように、第 1 の実施例では、n 型及び p 型オーミック電極間に電流を流したところ、ピーク発光波長 730nm とする赤色光が出射された。順方向に 20mA の電流を通流した際の順方向電圧 (V_F) は、化合物半導体層を構成する電流拡散層と機能性基板との接合界面での抵抗の低さ及び各オーミック電極の良好なオーミック特性を反映し、 2.0V となった。順方向電流を 20mA とした際の応答速度（立ち上がり時間） t_r 及び発光出力 (P_o) はそれぞれ、 18ns 、 8.8mW であった。

[表6]

	素子構造	基板	接合面積 (μm^2)	バリア層	ペア数	Tr (nsec)	Po (20mA)	VF (20mA)
実施例 1	透明	GaP	123000	AlGaAs	1	18	8.8	2.0
実施例 2	透明	GaP	123000	AlGaAs	3	20	9.1	2.0
実施例 3	透明	GaP	123000	AlGaAs	5	24	9.3	2.0
実施例 4	透明	GaP	53000	AlGaAs	1	15	9.0	2.0
実施例 5	透明	GaP	53000	AlGaAs	3	18	9.3	2.0
実施例 6	透明	GaP	53000	AlGaAs	5	22	9.6	2.0
実施例 7	透明	GaP	20000	AlGaAs	5	17	9.6	2.1
実施例 8	透明	GaP	90000	AlGaAs	5	23	9.4	2.0
実施例 9	透明	GaP	123000	AlGaInP	5	24	9.0	2.1
実施例 10	透明	GaP	53000	AlGaInP	3	19	9.0	2.1
実施例 11	反射	Si	123000	AlGaAs	5	25	8.6	2.0
実施例 12	反射	Si	53000	AlGaAs	3	18	8.5	2.0
実施例 13	反射	Si	123000	AlGaInP	5	25	8.0	2.1
実施例 14	反射	Si	53000	AlGaInP	3	19	8.0	2.1
実施例 15	反射	金属	123000	AlGaAs	5	25	8.6	2.0
実施例 16	反射	金属	123000	AlGaInP	5	25	8.0	2.1
比較例 1	液相エピ	AlGaAs		AlGaAs		25	3.0	1.9
参考例 1	透明	GaP	123000	AlGaAs	10	30	9.8	2.0
参考例 2	透明	GaP	123000	AlGaAs	20	42	10.0	2.0
参考例 3	透明	GaP	53000	AlGaAs	10	28	10.0	2.0
参考例 4	透明	GaP	53000	AlGaAs	20	38	10.5	2.0

実施例 2

[0119] 実施例 2 の発光ダイオードは第 1 の実施形態の実施例であり、井戸層及びバリア層のペア数を 3 対とした以外は、実施例 1 と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、 20 nsec 、 9.1 mW 、 2.0 V であった。

実施例 3

[0120] 実施例 3 の発光ダイオードは第 1 の実施形態の実施例であり、井戸層及びバリア層のペア数を 5 対とした以外は、実施例 1 と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、

24 nsec、9.3 mW、2.0 Vであった。

- [0121] 実施例4～6の発光ダイオードも第1の実施形態の実施例であるが、活性層とクラッド層との接合面積を $53000\mu\text{m}^2$ ($230\mu\text{m} \times 230\mu\text{m}$)とした実施例である。

実施例 4

- [0122] 実施例6の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積以外の条件は、実施例1と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、15 nsec、9.0 mW、2.0 Vであった。

実施例 5

- [0123] 実施例7の発光ダイオードは、井戸層及びバリア層のペア数を3対とした以外は、実施例6と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、18 nsec、9.3 mW、2.0 Vであった。

実施例 6

- [0124] 実施例8の発光ダイオードは、井戸層及びバリア層のペア数を5対とした以外は、実施例6と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、22 nsec、9.6 mW、2.0 Vであった。

実施例 7

- [0125] 実施例7の発光ダイオードも第1の実施形態の実施例であるが、活性層とクラッド層との接合面積を $20000\mu\text{m}^2$ ($200\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$)とした実施例である。

- [0126] 実施例7の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積以外の条件は、実施例1と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、17 nsec、9.6 mW、2.1 Vであった。

実施例 8

[0127] 実施例 8 の発光ダイオードも第 1 の実施形態の実施例であるが、活性層とクラッド層との接合面積を $90000 \mu\text{m}^2$ ($300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$) とした実施例である。

[0128] 実施例 8 の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積以外の条件は、実施例 1 と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、 23 nsec 、 9.4 mW 、 2.0 V であった。

[0129] 実施例 9 及び 10 の発光ダイオードは第 2 の実施形態の実施例である。

実施例 9

[0130] 実施例 9 の発光ダイオードは、活性層とクラッド層との接合面積を $123000 \mu\text{m}^2$ ($350 \mu\text{m} \times 350 \mu\text{m}$) とした実施例である。

実施例 9 の発光ダイオードの層構成は以下の通りである。

Si をドーピングした n 型の GaAs 単結晶からなる GaAs 基板上は、(100) 面から (0-1-1) 方向に 15° 傾けた面を成長面とし、キャリア濃度を $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。化合物半導体層としては、Si をドーピングした GaAs からなる n 型の緩衝層、Si をドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる n 型のコンタクト層、Si をドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる n 型の上部クラッド層、 $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる上部ガイド層、 $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{As} / (\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ の対からなる井戸層／バリア層、 $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる下部ガイド層、Mg をドーピングした $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる p 型の下部クラッド層、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる薄膜の中間層、Mg ドーピングした p 型 GaP からなる電流拡散層を用いた。

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。コンタクト層は、キャリア濃度を約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $3.5 \mu\text{m}$ とした。上部クラッド層は、キャリア濃度を約 1×1

0.18 cm^{-3} 、層厚を約 $0.5 \mu\text{m}$ とした。上部ガイド層は、アンドープで層厚を約 50 nm とした。井戸層は、アンドープで層厚が約 7 nm の $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{As}$ とし、バリア層はアンドープで層厚が約 19 nm の $(\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ とした。また、井戸層及びバリア層のペア数を 5 対とした。下部ガイド層は、アンドープで層厚を約 50 nm とした。下部クラッド層は、キャリア濃度を約 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $0.5 \mu\text{m}$ とした。中間層は、キャリア濃度を約 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $0.05 \mu\text{m}$ とした。GaP からなる電流拡散層は、キャリア濃度を約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚を約 $9 \mu\text{m}$ とした。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、 24 nsec 、 9.0 mW 、 2.1 V であった。

実施例 10

[0131] 実施例 10 の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積を $53000 \mu\text{m}^2$ ($230 \mu\text{m} \times 230 \mu\text{m}$) とし、井戸層及びバリア層のペア数を 3 対とした以外は、実施例 9 と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、 19 nsec 、 9.0 mW 、 2.1 V であった。

[0132] 実施例 11～14 は、実施例 1～10 と同様に化合物半導体層を作製し、その後、反射層を含む機能性基板を電流拡散層に接合した構成であり、機能性基板がシリコンからなる層を含む実施例である。実施例 11 及び 12 の発光ダイオードは第 3 の実施形態の実施例であり、実施例 13 及び 14 の発光ダイオードは第 5 の実施形態の実施例である。

実施例 11

[0133] 実施例 11 の発光ダイオードは、活性層とクラッド層との接合面積を $123000 \mu\text{m}^2$ ($350 \mu\text{m} \times 350 \mu\text{m}$) とした実施例である。井戸層及びバリア層のペア数は 5 対とした。

[0134] 実施例 11 の発光ダイオードの作製方法を、図 8B を参照して説明する。

電流拡散層 8 の表面に、AuBe/Au 合金を厚さ $0.2 \mu\text{m}$ で $20 \mu\text{m}$

φのドットでなる電極21を、光取り出し面の端から50 μmになるように等間隔で8個配置した。

次に、透明導電膜であるITO膜22を0.4 μmの厚さでスパッタ法により形成した。更に、銀合金/Ti/Auでなる層23を0.2 μm/0.1 μm/1 μmの厚さで形成し、反射層23とした。

[0135] 一方、シリコン基板（シリコンからなる層）30の表面に、Ti/Au/Inでなる層32を0.1 μm/0.5 μm/0.3 μmの厚さで形成した。シリコン基板30の裏面に、Ti/Auでなる層33を0.1 μm/0.5 μmの厚さで形成した。前記発光ダイオードウェーハ側のAuとシリコン基板側のIn表面とを重ね合わせ、320℃で加熱・500 g/cm²で加圧し、機能性基板を発光ダイオードウェーハに接合した。

[0136] GaAs基板を除去し、コンタクト層16の表面に、AuGe/Auでなる直径100 μmで厚さ3 μmのオーミック電極25を形成し、420℃で、5分間熱処理し、p、nオーミック電極を合金化処理した。

[0137] 次に、コンタクト層16の表面を粗面化処理した。

チップに分離する為の切断予定部分の半導体層と反射層、共晶金属を除去し、シリコン基板をダイシングソーで、350 μmピッチで正方形に切断した。

[0138] この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表6に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、25 nsec、8.6 mW、2.0 Vであった。

実施例 12

[0139] 実施例12の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積を53000 μm²（230 μm×230 μm）とし、井戸層及びバリア層のペア数を3対とした以外は、実施例11と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表6に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、18 nsec、8.5 mW、2.0 Vであった。

実施例 13

[0140] 実施例 13 の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積を $123000\mu\text{m}^2$ ($350\mu\text{m} \times 350\mu\text{m}$) とし、井戸層及びバリア層のペア数は 5 対とした。実施例 9 と同様の手順で化合物半導体層を作製した後、実施例 11 と同様の手順で、電流拡散層に反射層を備えた機能性基板を接合した構成である。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表 6 に示した通り、応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、 25 nsec 、 8.0 mW 、 2.1 V であった。

実施例 14

[0141] 実施例 14 の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積を $53000\mu\text{m}^2$ ($230\mu\text{m} \times 230\mu\text{m}$) とし、井戸層及びバリア層のペア数を 3 対とした以外は、実施例 13 と同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

応答速度 (t_r)、発光出力 (P_o) 及び順方向電圧 (V_F) はそれぞれ、 19 nsec 、 8.0 mW 、 2.1 V であった。

[0142] 実施例 15 及び 16 はそれぞれ、第 4 の実施形態の実施例、第 6 の実施形態の実施例であり、実施例 1～10 と同様に化合物半導体層を作製し、その後、反射層と金属基板とを含む機能性基板を電流拡散層に接合した構成である。

実施例 15

[0143] 実施例 15 の発光ダイオードは活性層とクラッド層との接合面積を $123000\mu\text{m}^2$ ($350\mu\text{m} \times 350\mu\text{m}$) とし、井戸層及びバリア層のペア数は 5 対とした。

[0144] 実施例 15 の発光ダイオードの作製方法を、図 11 を参照して説明する。なお、コンタクト層及びオーミック電極（第 1 の電極）については図 8 B に示したものと同様な構成としたので、コンタクト層 16 及びオーミック電極 25 の符号は図 8 B に示した符号に対応する。

電流拡散層 8 の表面に、AuBe / Au 合金を厚さ $0.2\mu\text{m}$ で $20\mu\text{m}$

φのドットでなる電極57を、光取り出し面の端から50 μmになるように等間隔で8個配置した。

次に、透明導電膜であるITO膜52を0.4 μmの厚さでスパッタ法により形成した。更に、銀合金/Ti/Auでなる層53を0.2 μm/0.1 μm/1 μmの厚さで形成し、反射層53とした。

[0145] 次に、熱膨張係数が化合物半導体層2の材料より大きい第1の金属板と、熱膨張係数が化合物半導体層2の材料より小さい第2の金属板とを採用して、ホットプレスして金属基板50を形成する。

[0146] 例えば、第1の金属板50Aとしては厚さ10 μmのCu、第2の金属板50Bとしては厚さ75 μmのMoを用い、図11に示すように、2枚の前記第1の金属板50Aの間に前記第2の金属板50Bを挿入してこれらを重ねて所定の加圧装置において高温下で荷重をかけることにより、Cu(10 μm)/Mo(75 μm)/Cu(10 μm)の3層からなる金属基板50を形成する。

[0147] 次に、前記発光ダイオードの前記反射層53の表面と前記金属基板50とを重ね合わせ、400℃で加熱・500 g/cm²で加圧し、機能性基板を発光ダイオードウェーハに接合した。

[0148] GaAs基板を除去し、コンタクト層16(図8B参照)の表面に、AuGe/Auでなる直径100 μmで厚さ3 μmのオーミック電極25(図8B参照)を形成し、420℃で、5分間熱処理し、p、nオーミック電極を合金化処理した。

[0149] 次に、コンタクト層16(図8B参照)の表面を粗面化処理した。

チップに分離する為の切断予定部分の半導体層と反射層、共晶金属を除去し、シリコン基板をダイシングソーで、350 μmピッチで正方形に切断した。

[0150] この発光ダイオード(発光ダイオードランプ)の特性を評価した結果は表6に示した通り、応答速度(t_r)、発光出力(P_o)及び順方向電圧(V_F)はそれぞれ、25 nsec、8.6 mW、2.0 Vであった。

実施例 16

[0151] 実施例 16 の発光ダイオードは実施例 15 の発光ダイオードにおける AlGaAs バリア層を、組成式 $(\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{1-x3})_{y2}\text{In}_{1-y2}\text{P}$ ($0 \leq x3 \leq 1$, $0 < y2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とした点が異なる。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表 6 に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、25 nsec、8.0 mW、2.1 V であった。

[0152] 参考例 1～4 は、井戸層及びバリア層のペア数を 10 対及び 20 対とした例であり、本発明の 3 元混晶の量子井戸構造又は 3 元混晶の井戸層と 4 元混晶のバリア層とからなる量子井戸構造を 4 元クラッド層で挟む構成が高い発光出力に適した構成であることを示している。

参考例 1

[0153] 参考例 1 の発光ダイオードは、井戸層及びバリア層のペア数を 10 対とした以外は実施例 1 の発光ダイオードと同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表 6 に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、30 nsec、9.8 mW、2.0 V であった。

参考例 2

[0154] 参考例 2 の発光ダイオードは、井戸層及びバリア層のペア数を 20 対とした以外は実施例 1 の発光ダイオードと同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表 6 に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、42 nsec、10 mW、2.0 V であった。

参考例 3

[0155] 参考例 3 の発光ダイオードは、井戸層及びバリア層のペア数を 10 対とし

た以外は実施例4の発光ダイオードと同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表6に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、 28 nsec 、 10 mW 、 2.0 V であった。

参考例4

[0156] 参考例4の発光ダイオードは、井戸層及びバリア層のペア数を20対とした以外は実施例1の発光ダイオードと同じ条件で作製し、同様の評価を行った。

この発光ダイオード（発光ダイオードランプ）の特性を評価した結果は表6に示した通り、応答速度（ t_r ）、発光出力（ P_o ）及び順方向電圧（ V_F ）はそれぞれ、 38 nsec 、 10.5 mW 、 2.0 V であった。

比較例1

[0157] 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発光波長 730 nm の発光ダイオードの例を示す。

GaAs基板に、スライドボート型成長装置を用いてAlGaAs層を成長した。

スライドボ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ボート型成長装置を、石英反応管内にセットし、水素気流中で 950°C まで加温し、原料を溶解した。その後、雰囲気温度を 910°C 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、 $0.5^\circ\text{C}/\text{分}$ の速度で降温し、所定温度に達した。またスライダーを押して順次各原料溶液に接触させ、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。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。その後、スライダーを押して原料溶液とウェーハを切り離してエピタキシャル成長を終了させた。

[0158] 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 $X_1 = 0.3 \sim 0.4$ 、層厚64 μm 、キャリア濃度 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、p型クラッド層は、Al組成 $X_2 = 0.4 \sim 0.5$ 、層厚79 μm 、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、p型活性層は、発光波長が760 nmの組成で、層厚1 μm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、n型クラッド層は、Al組成 $X_4 = 0.4 \sim 0.5$ 、層厚25 μm 、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、であった。

[0159] 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GaAlAs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ーハ両面に金電極を形成し、長辺が350 μm の電極マスクを用いて、直径100 μm のワイヤー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20 μm のオーミック電極を80 μm 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GaAlAs層が表面側となるようにした350 μm 角の発光ダイオードを作製した。

[0160] 比較例1の発光ダイオードを実装し、発光ダイオードランプの特性を評価した結果を表6に示す。

表6に示すように、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760 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、1.9 ボルト (V) となった。

順方向電流を20 mAとした際の応答速度 (t_r) 及び発光出力 (P_o) はそれぞれ、25 nsec、3.0 mWであった。

比較例1のいずれのサンプルについても、本発明の実施例1～16に比べて応答速度は等しいか遅く、且つ発光出力は低かった。

産業上の利用可能性

[0161] 本発明の発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置は、高速応答性と高出力性とを兼ね備えた赤色光及び／又は赤外光を発光する発光ダイオード、発光ダイオードランプ及び照明装置として利用できる。

符号の説明

- [0162] 1 . . . 発光ダイオード
2 . . . 化合物半導体層
3 . . . 機能性基板
3 a . . . 垂直面
3 b . . . 傾斜面
4 . . . n型オーミック電極（第1の電極）
5 . . . p型オーミック電極（第2の電極）
6 . . . 第3の電極
7 . . . 発光部
8 . . . 電流拡散層
9 . . . 下部クラッド層
10 . . . 下部ガイド層
11 . . . 発光（活性）層
12 . . . 上部ガイド層
13 . . . 上部クラッド層
14 . . . GaAs基板
15 . . . 緩衝層
16 . . . コンタクト層
17 . . . 井戸層
18 . . . バリア層
20 . . . 発光ダイオード
21 . . . 電極
22 . . . 透明導電膜

- 2 3 . . . 反射層
- 2 5 . . . ボンディング電極
- 3 0 . . . シリコン基板
- 3 1 . . . 機能性基板
- 4 1 . . . 発光ダイオードランプ
- 4 2 . . . マウント基板
- 4 3 . . . n 電極端子
- 4 4 . . . p 電極端子
- 4 5, 4 6 . . . 金線
- 4 7 . . . エポキシ樹脂
- α . . . 傾斜面と発光面に平行な面とのなす角度
- 5 0 . . . 金属基板
- 5 1 . . . 機能性基板
- 5 2 . . . 透明導電膜
- 5 3 . . . 反射層
- 5 5 . . . 第 1 の電極
- 5 6 . . . コンタクト層
- 5 7 . . . 第 2 の電極

請求の範囲

- [請求項1] 組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、
- 前記発光部上に形成された電流拡散層と、
- 前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、
- 前記第1及び第2のクラッド層は組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、
- 前記井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする発光ダイオード。
- [請求項2] 組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq x_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層と、組成式 $(\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})_{y_2}\text{In}_{1-y_2}\text{P}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$, $0 < y_2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第1のクラッド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、
- 前記発光部上に形成された電流拡散層と、
- 前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、
- 前記第1及び第2のクラッド層は組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、
- 前記井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする発光ダイオード。
- [請求項3] 前記活性層と前記クラッド層との接合面積が $20000 \sim 90000 \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする請求項1または2のいずれかに記載の発光ダイオード。
- [請求項4] 前記井戸層のAl組成 x_1 を $0.20 \leq x_1 \leq 0.36$ とし、前記

井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $660 \sim 720 \text{ nm}$ に設定されてなることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項5] 前記井戸層の Al 組成 X_1 を $0 \leq X_1 \leq 0.2$ とし、前記井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $720 \sim 850 \text{ nm}$ に設定されてなることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項6] 前記機能性基板は発光波長に対して透明であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項7] 前記機能性基板は GaP 、サファイア又は SiC からなることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項8] 組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq X_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層及びバリア層を交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第 1 のクラッド層と第 2 のクラッド層とを有する発光部と、

前記発光部上に形成された電流拡散層と、

前記発光部に対向して配置して発光波長に対して 90% 以上の反射率を有する反射層を含み、前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、

前記第 1 及び第 2 のクラッド層は組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq X_2 \leq 1$, $0 < Y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、

前記井戸層及びバリア層のペア数が 5 以下であることを特徴とする発光ダイオード。

[請求項9] 組成式 $(\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{As}$ ($0 \leq X_1 \leq 1$) の化合物半導体からなる井戸層と、組成式 $(\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3})_{y_2}\text{In}_{1-y_2}\text{P}$ ($0 \leq X_3 \leq 1$, $0 < Y_2 \leq 1$) の化合物半導体からなるバリア層とを交互に積層した量子井戸構造の活性層と、前記活性層を挟む第 1 のクラッ

ド層と第2のクラッド層とを有する発光部と、

前記発光部上に形成された電流拡散層と、

前記発光部に対向して配置して発光波長に対して90%以上の反射率を有する反射層を含み、前記電流拡散層に接合された機能性基板とを備え、

前記第1及び第2のクラッド層は組成式 $(\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})_{y_1}\text{In}_{1-y_1}\text{P}$ ($0 \leq x_2 \leq 1$, $0 < y_1 \leq 1$) の化合物半導体からなり、

前記井戸層及びバリア層のペア数が5以下であることを特徴とする発光ダイオード。

[請求項10] 前記活性層と前記クラッド層との接合面積が $20000 \sim 90000 \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする請求項8または9のいずれかに記載の発光ダイオード。

[請求項11] 前記井戸層のAl組成X1を $0.20 \leq X1 \leq 0.36$ とし、前記井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $660 \sim 720 \text{ nm}$ に設定されてなることを特徴とする請求項8から10のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項12] 前記井戸層のAl組成X1を $0 \leq X1 \leq 0.2$ とし、前記井戸層の厚さを $3 \sim 30 \text{ nm}$ とし、発光波長が $720 \sim 850 \text{ nm}$ に設定されてなることを特徴とする請求項8から10のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

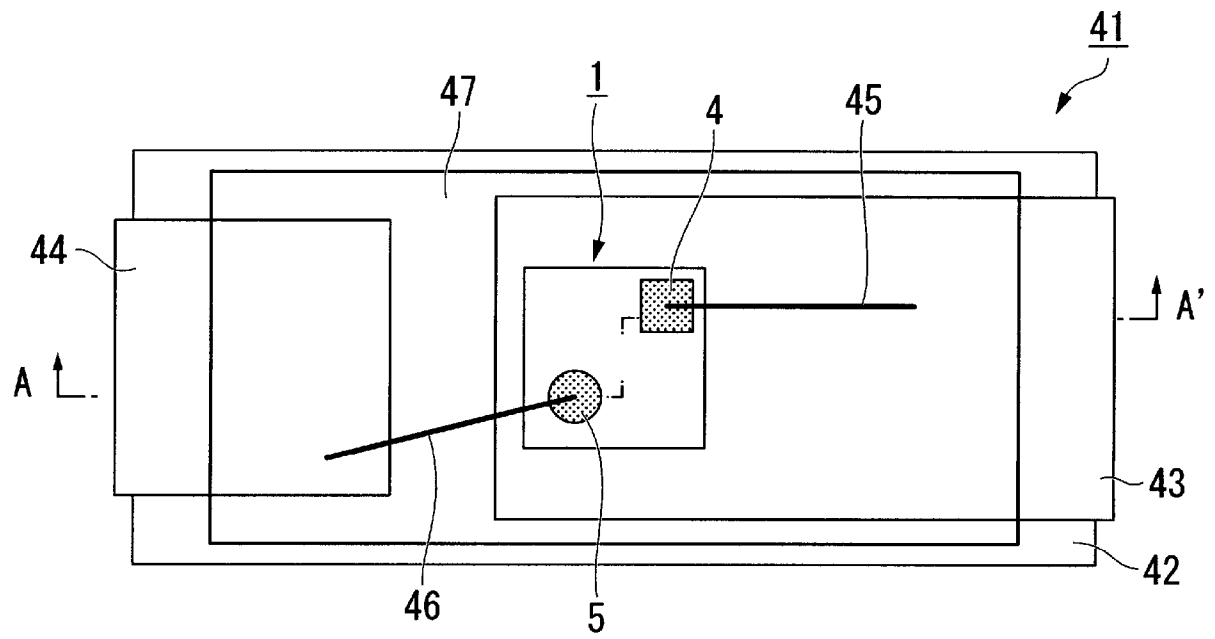
[請求項13] 前記機能性基板はシリコンまたはゲルマニウムからなる層を含むことを特徴とする請求項8から12のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

[請求項14] 前記機能性基板は金属基板を含むことを特徴とする請求項8から12のいずれか一項に記載の発光ダイオード。

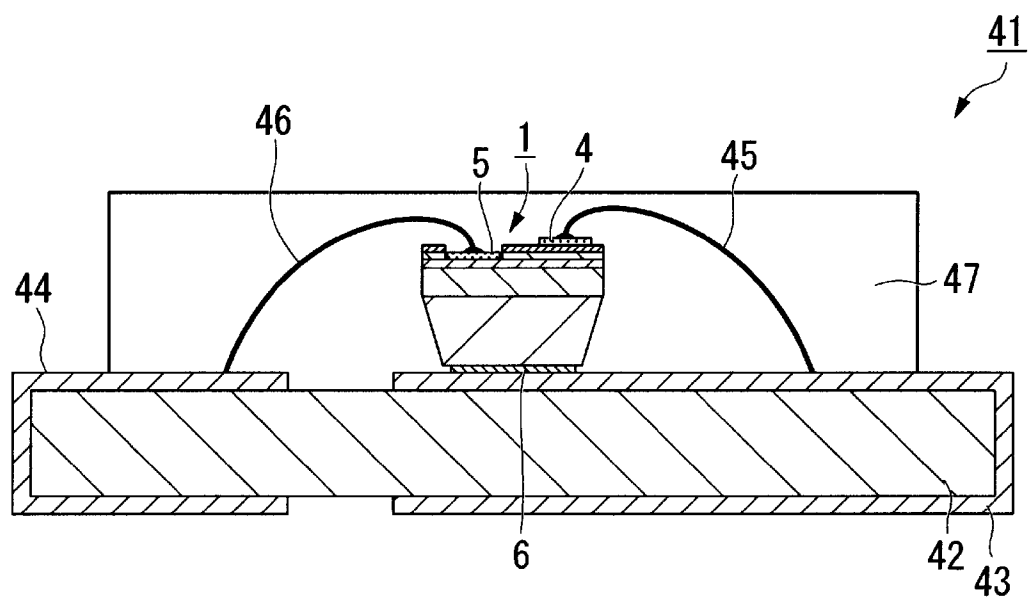
[請求項15] 前記金属基板は2枚以上の金属層からなることを特徴とする請求項14に記載の発光ダイオード。

- [請求項16] 前記電流拡散層はG a Pからなることを特徴とする請求項1から15のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項17] 前記電流拡散層の厚さは0.5～20 μ mの範囲であることを特徴とする請求項1から16のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項18] 前記機能性基板の側面は、前記発光部に近い側においては主たる光取り出し面に対して略垂直である垂直面を有し、前記発光部に遠い側においては前記主たる光取り出し面に対して内側に傾斜した傾斜面を有することを特徴とする請求項1から17のいずれか一項に記載の発光ダイオード。
- [請求項19] 前記傾斜面は粗い面を含むことを特徴とする請求項18に記載の発光ダイオード。
- [請求項20] 第1の電極及び第2の電極が発光ダイオードの前記主たる光取り出し面側に設けられていることを特徴とする請求項18または19のいずれかに記載の発光ダイオード。
- [請求項21] 前記第1の電極及び前記第2の電極がオーミック電極であることを特徴とする請求項20に記載の発光ダイオード。
- [請求項22] 前記機能性基板の、前記主たる光取り出し面側の反対側の面に、第3の電極をさらに備えることを特徴とする請求項20または21のいずれかに記載の発光ダイオード。
- [請求項23] 請求項1から22のいずれか一項に記載の発光ダイオードを備えることを特徴とする発光ダイオードランプ。
- [請求項24] 請求項22に記載の発光ダイオードを備え、前記第1の電極又は第2の電極と、前記第3の電極とが略同電位に接続されていることを特徴とする発光ダイオードランプ。
- [請求項25] 請求項1から22のいずれか一項に記載の発光ダイオードを2個以上搭載した照明装置。

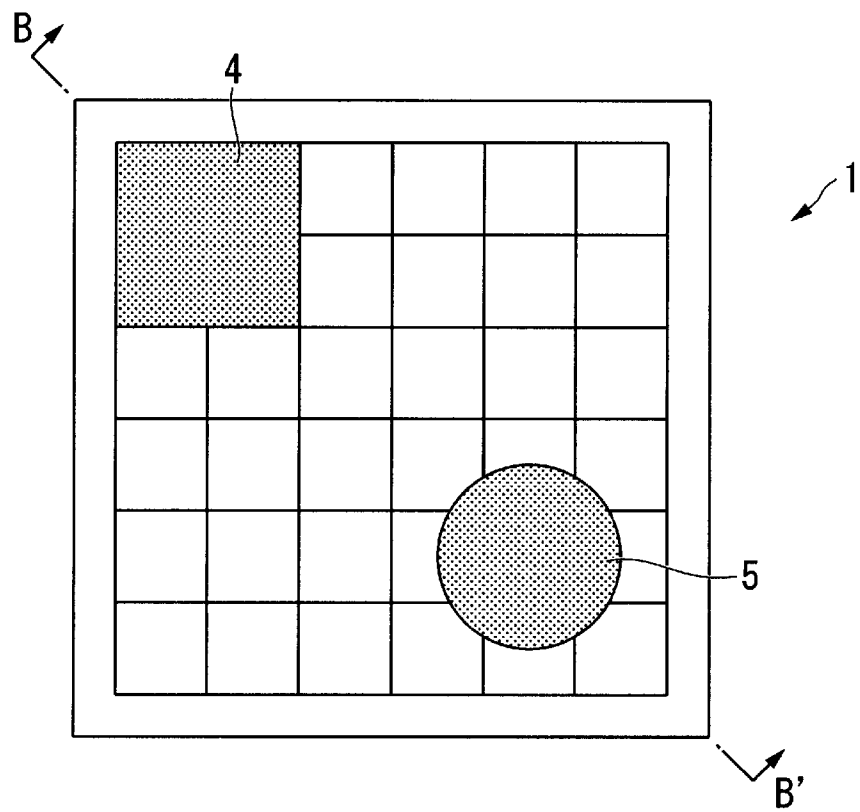
[図1]



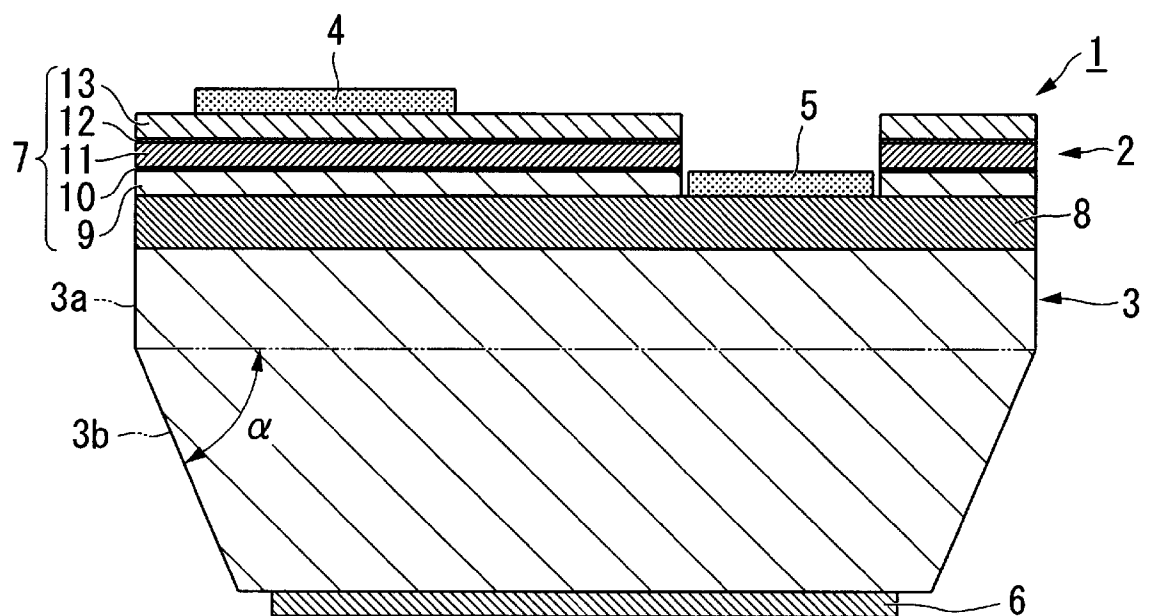
[図2]



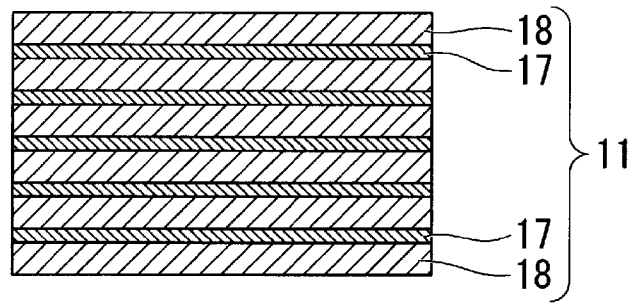
[図3]



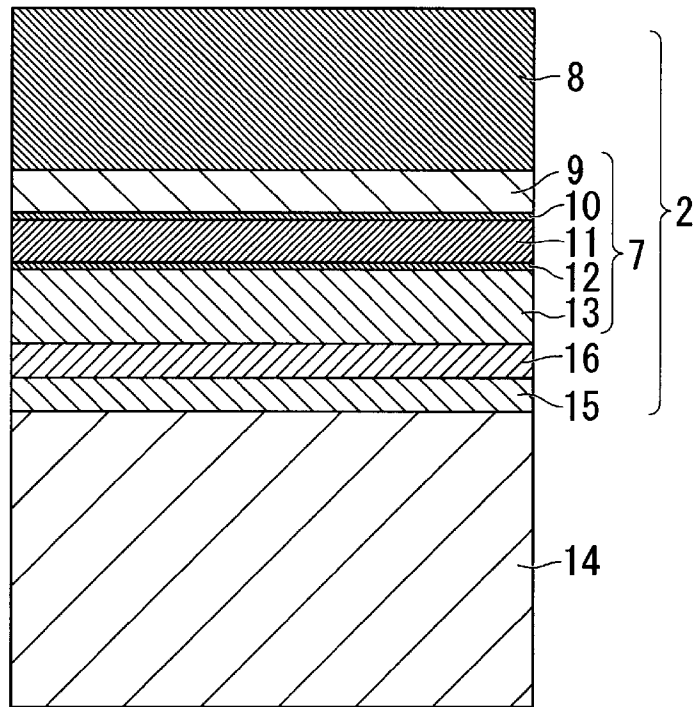
[図4]



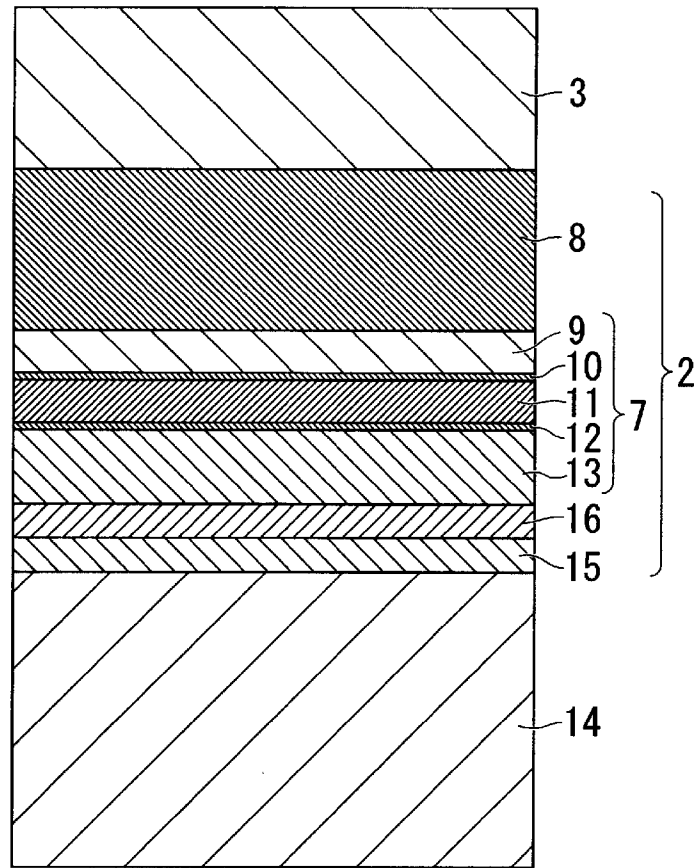
[図5]



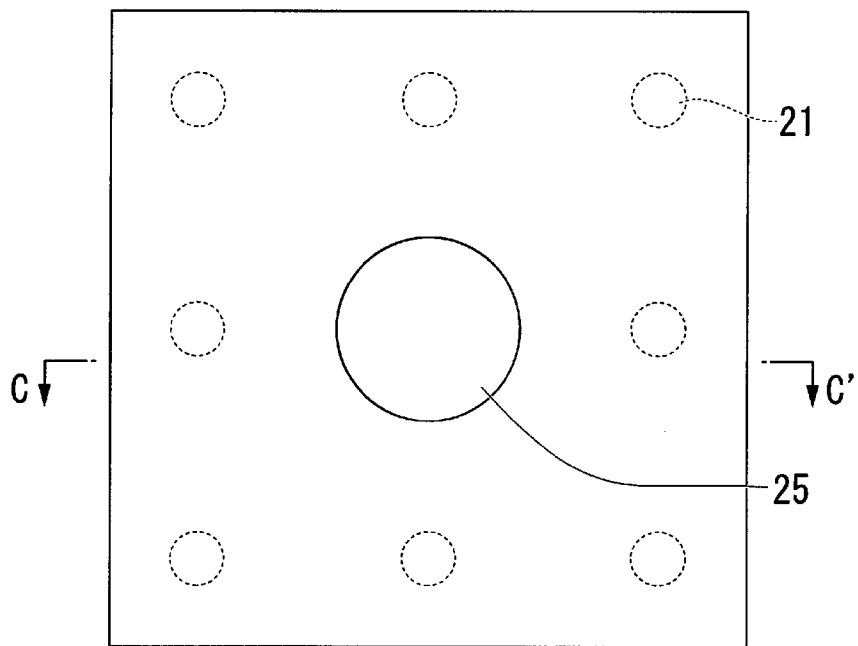
[図6]



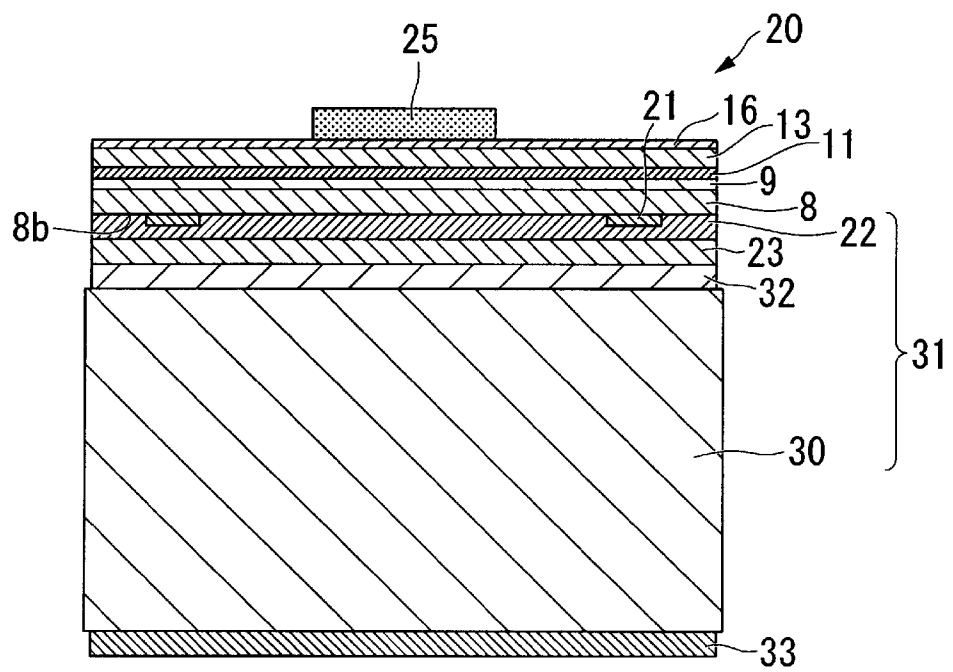
[図7]



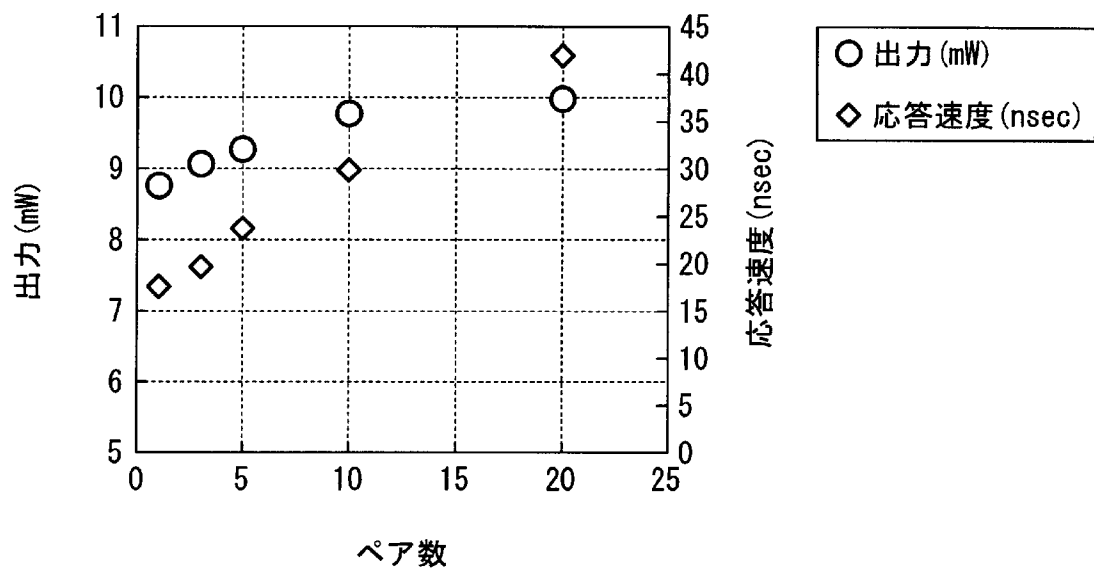
[図8A]



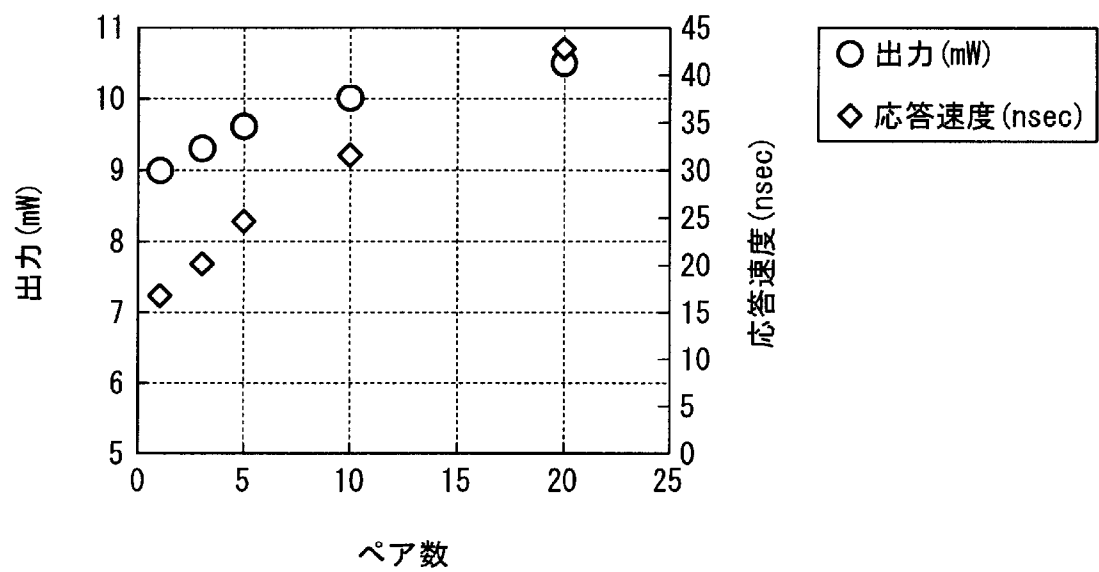
[図8B]



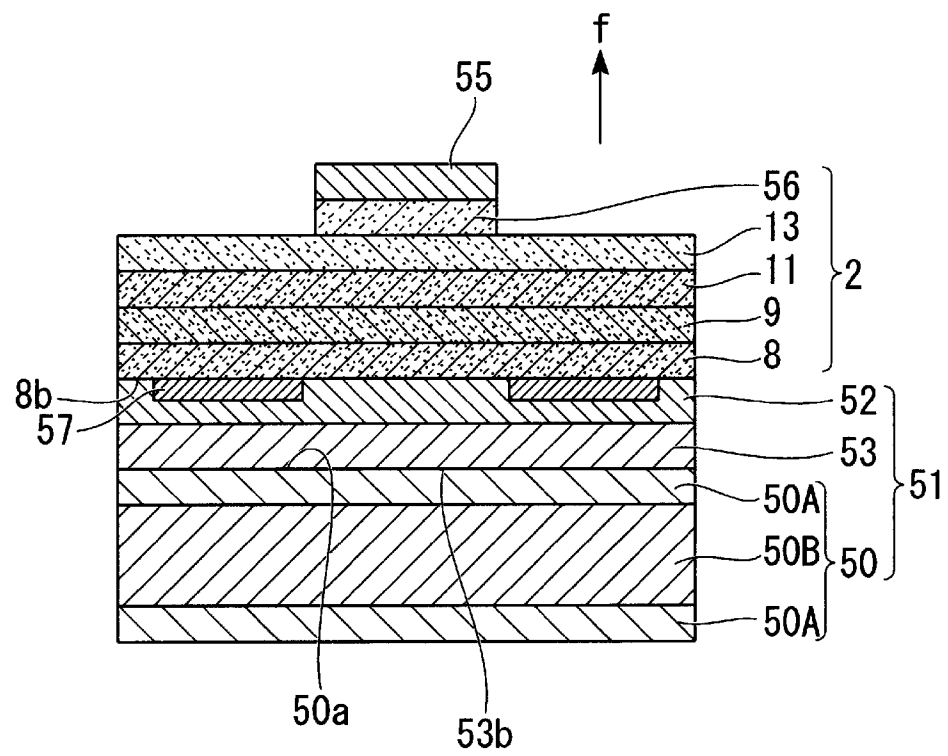
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/068256

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/06(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, H01S5/00-5/50

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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.
X Y	JP 7-22713 A (Philips Electronics N.V.), 24 January 1995 (24.01.1995), paragraphs [0005], [0014] to [0020] & US 5545903 A & EP 637112 A1 & DE 69412946 C & DE 69412946 T & BE 1007251 A & AU 6590194 A & AU 675531 B & CN 1099906 A	1, 4, 5, 23, 25 2, 3, 6-22, 24
Y	JP 2007-201300 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 09 August 2007 (09.08.2007), paragraphs [0043], [0046] (Family: none)	2, 9

☒ 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

"T" 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
05 September, 2011 (05.09.11)Date of mailing of the international search report
13 September, 2011 (13.09.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/068256

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 2000-101132 A (Sharp Corp.), 07 April 2000 (07.04.2000), paragraphs [0068] to [0070] (Family: none)	3, 10
Y	JP 2006-66518 A (Sharp Corp.), 09 March 2006 (09.03.2006), paragraphs [0003], [0042] to [0059]; fig. 1 to 4 & US 2006/0043392 A1 & CN 1741294 A	6, 7, 16, 17
Y	JP 2004-207508 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 22 July 2004 (22.07.2004), paragraphs [0017], [0028] to [0040]; fig. 1, 2 & US 2004/0104395 A1	8-15
Y	JP 2008-532281 A (Cree Inc.), 14 August 2008 (14.08.2008), paragraph [0034]; fig. 1 to 7 & US 2006/0189098 A1 & WO 2006/091242 A1 & DE 112005003476 T	13-15
Y	JP 2007-194536 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 02 August 2007 (02.08.2007), paragraphs [0039] to [0040], [0042]; fig. 2 (Family: none)	18-22, 24

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L33/06 (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 (I P C))

Int.Cl. H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
X Y	JP 7-22713 A (フィリップス エレクトロニクス ネムローゼ フェンノートシャップ) 1995.01.24, 【0005】、【0014】 - 【0020】 & US 5545903 A & EP 637112 A1 & DE 69412946 C & DE 69412946 T & BE 1007251 A & AU 6590194 A & AU 675531 B & CN 1099906 A	1, 4, 5, 23, 25 2, 3, 6-22, 24
Y	JP 2007-201300 A (松下電器産業株式会社) 2007.08.09, 【0043】、【0046】 (ファミリーなし)	2, 9

☒ 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

「A」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
「E」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
「L」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)
「O」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

「T」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
「X」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
「Y」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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

中澤 真吾

2 K

4 6 3 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

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 2000-101132 A (シャープ株式会社) 2000. 04. 07, 【0068】 －【0070】 (ファミリーなし)	3, 10
Y	JP 2006-66518 A (シャープ株式会社) 2006. 03. 09, 【0003】、【0042】 －【0059】、【図1】－【図4】 & US 2006/0043392 A1 & CN 1741294 A	6, 7, 16, 17
Y	JP 2004-207508 A (信越半導体株式会社) 2004. 07. 22, 【0017】、 【0028】－【0040】、【図1】、【図2】 & US 2004/0104395 A1	8-15
Y	JP 2008-532281 A (クリー インコーポレイテッド) 2008. 08. 14, 【0034】、【図1】－【図7】 & US 2006/0189098 A1 & W0 2006/091242 A1 & DE 112005003476 T	13-15
Y	JP 2007-194536 A (昭和電工株式会社) 2007. 08. 02, 【0039】 －【0040】、【0042】、【図2】 (ファミリーなし)	18-22, 24