

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-209488

(P2012-209488A)

(43) 公開日 平成24年10月25日(2012.10.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	5 F 0 4 1
HO 1 L 33/04 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 1 0	5 F 1 4 1
HO 1 S 5/323 (2006.01)	HO 1 S 5/323 6 1 0	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2011-75192 (P2011-75192)
 (22) 出願日 平成23年3月30日 (2011. 3. 30)

(71) 出願人 000006633
 京セラ株式会社
 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
 (72) 発明者 田中 浩康
 京都府相楽郡精華町光台3丁目5番地3号
 京セラ株式会社中央研究所内
 Fターム(参考) 5F041 AA03 AA40 CA05 CA40 CA49
 CA57 CA58 CA60
 5F141 AA03 AA40 CA05 CA40 CA49
 CA57 CA58 CA60
 5F173 AA01 AF25 AF38 AG18 AH22
 AJ04 AR25 AR82

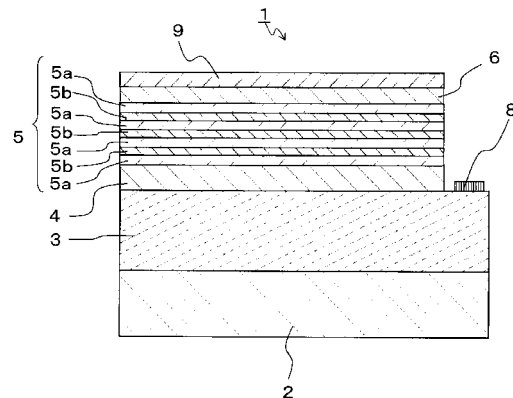
(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【要約】

【課題】 光半導体層の結晶性を向上させつつ、発光効率の低下を招きにくくすることが可能な発光素子を提供する。

【解決手段】 本発明の発光素子は、n型窒化ガリウム系半導体層3と、n型窒化ガリウム系半導体層3上に設けられた、窒化ガリウム系半導体を含む発光層4と、発光層4上に設けられた、発光層4と接するブロック層5を持つp型窒化ガリウム系半導体層6とを有し、ブロック層5は、マグネシウムを含有した電子ブロック層5aと、電子ブロック層5aよりもマグネシウムの含有量が小さい、厚みが3nm以下の正孔トンネル層5bとが積層されている。このような正孔トンネル層5bをブロック層5が有していることから、光半導体層7の結晶性を向上させつつ、発光効率の低下を招きにくくすることができる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n 型窒化ガリウム系半導体層と、
 該 n 型窒化ガリウム系半導体層上に設けられた、窒化ガリウム系半導体を含む発光層と、
 該発光層上に設けられた、該発光層と接するブロック層を持つ p 型窒化ガリウム系半導体層とを有し、
 前記ブロック層は、マグネシウムを含有した電子ブロック層と、該電子ブロック層よりもマグネシウムの含有量が小さい、厚みが 3 nm 以下の正孔トンネル層とが積層された発光素子。

【請求項 2】

前記電子ブロック層は、前記発光層から遠ざかるにつれてマグネシウムの含有量が次第に小さくなっている請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 3】

前記正孔トンネル層は、マグネシウムを含有していない請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 4】

前記 n 型窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層と接する第 2 ブロック層を持ち、該第 2 ブロック層は、シリコンを含有した正孔ブロック層と、該正孔ブロック層よりもシリコンの含有量が小さい、厚みが 3 nm 以下の電子トンネル層とが積層された請求項 1 - 3 のいずれかに記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体を複数積層させた発光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

現在、紫外光、青色光あるいは緑色光等を発光する発光素子として、n 型半導体層、発光層および p 型半導体層を順次積層させた光半導体層が種々提案されている。特に、光半導体層を構成する光半導体として窒化物半導体を用いた発光素子の開発において、発光素子の発光効率を向上させることが必要となっている。

【0003】

発光素子の発光効率を向上させる技術として、n 型半導体層から発光層へ注入される電子が発光層を越えて p 型半導体層内に入ることを抑制するブロック層を発光層と p 型半導体層との間に設ける技術が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 91631 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 に記載された発光素子によれば、ブロック層は、p 型半導体層内において他の p 型半導体層よりもマグネシウムの含有量を大きくして設ける必要があったため、ブロック層の結晶品質が低下してしまい、ブロック層上に積層される p 型半導体層の結晶品質を向上させることが困難だった。

【0006】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、半導体層の結晶性を向上させつつ、発光効率の低下を招きにくくすることが可能な発光素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

10

20

30

40

50

本発明の発光素子は、n型窒化ガリウム系半導体層と、該n型窒化ガリウム系半導体層上に設けられた、窒化ガリウム系半導体を含む発光層と、該発光層上に設けられた、該発光層と接するブロック層を持つp型窒化ガリウム系半導体層とを有し、前記ブロック層は、マグネシウムを含有した電子ブロック層と、該電子ブロック層よりもマグネシウムの含有量が小さい、厚みが3nm以下の正孔トンネル層とが積層されている。

【発明の効果】

【0008】

本発明の発光素子によれば、上記の通り、ブロック層が電子ブロック層と電子ブロック層よりもマグネシウムの含有量が小さい正孔トンネル層とで構成されていることから、ブロック層の結晶品質を向上させることができる。また、マグネシウムの含有量を小さくした正孔トンネル層の厚みが3nm以下となるように設定されていることから、p型半導体層内の正孔が正孔トンネル層の障壁を通過して発光層側に移動することができるようになり、発光素子の発光効率の低下を招きにくくすることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の発光素子の実施形態の一例を示す斜視図である。

【図2】図1に示す発光素子の断面図であり、図1のA-A'線で切断したときの断面に相当する。

【図3】式のパラメータを説明するための模式図であり、ポテンシャル分布を表す図である。

20

【図4】図1および図2に示す発光素子において、発光層、ブロック層およびp型窒化ガリウム系半導体層のエネルギーバンドを示すバンド図である。

【図5】本発明の発光素子の実施形態の変形例であり、発光層、ブロック層およびp型窒化ガリウム系半導体層のエネルギーバンドを示すバンド図である。

【図6】本発明の発光素子の実施形態の変形例であり、n型窒化ガリウム系半導体層、第2ブロック層および発光層のエネルギーバンドを示すバンド図である。

【図7】本発明の発光素子の製造方法の実施形態の一例の一工程を示す断面図である。

【図8】本発明の発光素子の製造方法の実施形態の一例の一工程を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

30

以下、本発明の実施の形態の例について図を参照しながら説明する。なお、本発明は以下の実施の形態の例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の変更を施すことができる。

【0011】

<発光素子>

図1に、本発明の実施の形態の一例である発光素子1の斜視図を示す。図2は図1に示す発光素子1の断面図であり、図1のA-A'線で切断したときの断面に相当する。

【0012】

発光素子1は、図1に示すように、主に、基板2と、n型窒化ガリウム系半導体層3、発光層4、ブロック層5およびp型窒化ガリウム系半導体層6からなる光半導体層7とを有している。

40

【0013】

基板2は、光半導体層7を結晶成長させることが可能な材料を用いることができ、例えばサファイア、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、ホウ化ジルコニウムまたは酸化亜鉛などの結晶性材料を用いることができる。このような基板2は、平面視形状が四角形状となるように形成されている。基板2の厚みは、例えば10μm以上1000μm以下に設定されている。なお、基板2の平面視形状としては、例えば四角形状もしくは五角形状などの多角形状または円形状などに設定することができる。

【0014】

このような基板2は、後述する光半導体層7を成長させた後、エッチングなどを用いて

50

除去してもよい。これにより、光半導体層 7 で発光した光が基板 2 で吸収されにくくなるため、光取り出し効率を向上させることができる。また、基板 2 が除去された光半導体層 7 の主面に凹凸構造を設けることにより、基板 2 が除去された光半導体層 7 の主面で全反射されにくくすることができ、光取り出し効率を向上させることができる。

【0015】

光半導体層 7 は、図 2 に示すように、基板 2 上に複数の半導体層を積層させることによって構成されている。光半導体層 7 の平面視形状は、基板 2 の平面視形状と同様に、例えば四角形状もしくは五角形状などの多角形状または円形状などとすることができる。光半導体層 7 は、全体の厚みが例えば 100 nm 以上 20 μm 以下で形成される。また、光半導体層 7 の各層の屈折率は、窒化ガリウムを用いた場合には、例えば 1.80 以上 2.70 以下に設定される。

10

【0016】

光半導体層 7 は、n 型窒化ガリウム系半導体層 3、窒化ガリウム系半導体を含む発光層 4、ブロック層 5 および p 型窒化ガリウム系半導体層 6 から構成されている。窒化ガリウム系半導体は、例えばインジウム、アルミニウム、ボロンを含む窒化ガリウム半導体の混晶を用いることができる。なお、突起ガリウム系半導体として窒化ガリウムのみを用いてもよい。

【0017】

n 型窒化ガリウム系半導体層 3 は、基板 2 上に設けられる。n 型窒化ガリウム系半導体層 3 は、窒化ガリウムからなり、厚みが例えば 50 nm 以上 10 μm 以下に設定されている。n 型窒化ガリウム系半導体層 3 は、例えば不純物としてシリコンを含ませることにより、電子を多数キャリアとする n 型の導電型が半導体に付与されている。

20

【0018】

発光層 4 は、n 型窒化ガリウム系半導体層 3 上に設けられる。発光層 4 には、禁制帯幅の広い障壁層と禁制帯幅の狭い井戸層とからなる量子井戸構造が複数回繰り返し規則的に積層された多層量子井戸構造 (MQW) を用いることができる。障壁層と井戸層の一方は、窒化ガリウム系半導体から構成されている。障壁層および井戸層としては、インジウムとガリウムとの窒化物からなる混晶においてインジウムとガリウムとの組成比を調整したものをを用いることができる。このように構成された発光層 4 は、例えば 350 nm 以上 600 nm 以下の波長で発光強度がピークとなる光を発光することができる。

30

【0019】

p 型窒化ガリウム系半導体層 6 は、発光層 4 上に設けられる。p 型窒化ガリウム系半導体層 6 は、発光層 4 と接するようにブロック層 5 を有している。p 型窒化ガリウム系半導体層 6 は、例えば不純物としてマグネシウムを含ませることによって、正孔を多数キャリアとする p 型の導電型が半導体に付与されている。なお、n 型窒化ガリウム系半導体層 3 と p 型窒化ガリウム系半導体層 6 とは、互いに逆に配置されていてもよい。

【0020】

ブロック層 5 は、発光層 4 と p 型窒化ガリウム系半導体層 6 との間に配置されている。ブロック層 5 は、電子ブロック層 5 a および正孔トンネル層 5 b が積層されて構成されている。本例においては、ブロック層 5 は、電子ブロック層 5 a と正孔トンネル層 5 b との積層体が複数積層されている。

40

【0021】

電子ブロック層 5 a は、マグネシウムが含有するように設けられている。具体的に、電子ブロック層 5 a は、窒化ガリウム系半導体にマグネシウムがドーブされることによって設けられる。窒化ガリウム系半導体は、マグネシウムの含有量が p 型窒化ガリウム系半導体層 6 よりも高くなるように設定することができ、例えば $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下となるように設定されている。電子ブロック層 5 a は、厚みが、例えば 4 nm 以上 0.5 μm 以下となるように設定することができる。

【0022】

正孔トンネル層 5 b は、電子ブロック層 5 a 上に積層されている。正孔トンネル層 5 b

50

は、電子ブロック層 5 a よりもマグネシウムの含有量が小さくなるように設定されており、例えば電子ブロック層 5 a のマグネシウム含有量が正孔トンネル層 5 b のマグネシウム含有量よりも 100 分の 1 以下となるように設定することができる。具体的に、正孔トンネル層 5 b のマグネシウム含有量は、例えば $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下となるように設定することができる。正孔トンネル層 5 a は、層全体が電子ブロック層 5 a のマグネシウム含有量よりも小さくなるように設定されている。なお、電子ブロック層 5 a および正孔トンネル層 5 b のマグネシウム含有量は、例えば飛行時間型二次イオン質量分析 (Time of Flight Secondary Ion Mass Spectroscopy) 法などを用いて分析することができる。

【 0 0 2 3 】

また、正孔トンネル層 5 b の厚みは、正孔が正孔トンネル層 5 b をトンネルして通過することができるように設定される。具体的には、窒化ガリウム系半導体にマグネシウムを添加することにより p 型の導電性を付与した場合であれば、正孔トンネル層 5 b は、3 nm 以下となるように設定することができる。このような正孔トンネル層 5 b の厚みとしては、以下の式を用いて算出することができる。

【 0 0 2 4 】

【 数 1 】

$$\begin{aligned} \cos k_z L = & \cos \frac{2\pi\sqrt{2mE_z}}{h} L_w \cosh \frac{2\pi\sqrt{2m(V_0 - E_z)}}{h} L_b \\ & + \left(\frac{V_0}{2E_z} - 1 \right) \left(\frac{V_0}{E_z} - 1 \right)^{-1/2} \sin \frac{2\pi\sqrt{2mE_z}}{h} L_w \sinh \frac{2\pi\sqrt{2m(V_0 - E_z)}}{h} L_b \end{aligned}$$

【 0 0 2 5 】

ここで、図 4 に式のモデルを示す。L_w は電子ブロック層 5 b の厚み、L_b は正孔トンネル層 5 a の厚みを用いることができ、L は電子ブロック層 5 b と正孔トンネル層 5 b との積層体が z 方向に複数積層された際の周期を示している。また、V₀ は正孔トンネル層 5 b の電子ブロック層 5 a に対するエネルギー障壁を表しており、例えば接合前の電子ブロック層 5 a および正孔トンネル層 5 b のフェルミエネルギーの差の値を用いることができる。m は正孔トンネル層 5 b における正孔の有効質量を示しており、例えば自由電子の質量を 1 倍から 2 倍したものをを用いることができる。さらに、h はプランク定数、k_z は波数であり、E_z はその波数に対するエネルギーを示している。なお、このような値を上記の式に当て嵌めて解くと、正孔がトンネルすることのできる正孔トンネル層 5 b の厚みは、3 nm 以下となる。また、電子ブロック層 5 a の厚みに関しても、電子をトンネルさせない厚みを同様の式を用いて算出することができる。

【 0 0 2 6 】

光半導体層 7 には、電圧を印加して発光させるための電極層が設けられている。電極層は、n 型窒化ガリウム系半導体層 3 に電氣的に接続された第 1 電極層 8 と、p 型窒化ガリウム系半導体層 6 に電氣的に接続された第 2 電極層 9 とから構成されている。

【 0 0 2 7 】

第 1 電極層 8 は、n 型窒化ガリウム系半導体層 3 の露出した上面 3 a' に設けられている。第 1 電極層 8 は、発光層 4 および p 型窒化ガリウム系半導体層 6 と電氣的に絶縁させるために、発光層 4 および p 型窒化ガリウム系半導体層 6 と間を開けて設けられている。第 1 電極層 8 と、発光層 4 および p 型窒化ガリウム系半導体層 6 との間隔は、例えば 500 nm 以上 2 μm 以下に設定することができる。

【 0 0 2 8 】

第 1 電極層 8 および第 2 電極層 9 は、例えば、アルミニウム、チタン、ニッケル、クロム、インジウム、錫、モリブデン、銀、金、タンタルまたは白金などの金属や、それらの金属を含む合金膜や、酸化錫、酸化インジウムまたは酸化インジウム錫などの酸化物などを用いることができる。第 1 電極層 8 および第 2 電極層 9 は、それぞれ厚みが、例えば 1 nm 以上 20 μm 以下となるように設定することができる。

【0029】

本例の発光素子1は、ブロック層5に電子ブロック層5aと正孔トンネル層5bを有する構成となっている。このようにブロック層5が電子ブロック層5aのマグネシウムの含有量よりも小さい正孔トンネル層5bを有していることから、ブロック層5に含有されているマグネシウムの量を減らすことができるため、ブロック層5の結晶性を向上させることができる。そして、ブロック層5の結晶性を向上させることができることから、ブロック層5上に積層されるp型窒化ガリウム系半導体層6の結晶性を向上させることができる。

【0030】

従来の発光素子において、ブロック層でマグネシウムの含有量を減らした場合、電子を発光層に閉じ込める効果が十分に得られず、かつ価電子帯において正孔のp型窒化ガリウム系半導体層から発光層への移動を妨げる障壁が形成されることになるため、マグネシウムの含有量を減らしつつ、発光素子の発光効率を向上させることが困難だった。

10

【0031】

本例の発光素子1では、正孔トンネル層5bは、厚みが3nm以下となるように設定されている。ここで、光半導体層7のエネルギーバンド図を図4に示す。図4に示すように、正孔トンネル層5bの厚みは、正孔がトンネルして移動することができるようになっている。そのため正孔トンネル層5bを電子ブロック層5aよりもマグネシウムの含有量を小さくすることにより価電子帯に障壁が形成された場合でも、正孔が当該障壁をトンネルしてp型窒化ガリウム系半導体層5から発光層4に移動することができる。その結果、ブロック層5のマグネシウムの含有量を小さくして結晶性を向上させるとともに、正孔トンネル層5bが正孔の移動を妨げにくくなっていることから、発光素子1の発光効率の低下を抑制することができる。

20

【0032】

(発光素子の各種変形例)

以下、本発明の発光素子1の変形例について説明をする。なお、上述の発光素子1と重複する部分については同一符号を付し、その説明を省略する。

【0033】

(発光素子の変形例1)

電子ブロック層5aは、発光層4から遠ざかるにつれてマグネシウムの含有量が次第に小さくなっていてもよい。ここで、図5に、発光層4、ブロック層5およびp型窒化ガリウム系半導体層6のエネルギーバンドを示すバンド図を示す。このように、電子ブロック層5aを、発光層4から遠ざかるにつれてマグネシウムの含有量が次第に小さくなるように設定することにより、図5に示すように、正孔にとってp型窒化ガリウム系半導体層6から発光層4側に向かうにつれて、エネルギーが少しずつ小さくなるように傾斜させることができる。そのため、p型窒化ガリウム系半導体層6からブロック層5に入った正孔は、エネルギーが小さくなっている方向である発光層4側に移動しやすくなる。その結果、発光層4へ移動する正孔を多くすることができ、発光層4内に存在する正孔が多くなるため、発光素子1の発光効率を向上させることができる。

30

【0034】

(発光素子の変形例2)

正孔トンネル層5bには、マグネシウムを含有していなくてもよい。正孔トンネル層5bをマグネシウムが含有されなくすることにより、正孔トンネル層5bおよび電子ブロック層5aの結晶性をさらに向上させることができる。

40

【0035】

(発光素子の変形例3)

n型窒化ガリウム系半導体層3は、発光層4と接する第2ブロック層10を有していてもよい。第2ブロック層10は、正孔ブロック層10aおよび電子トンネル層10bにより構成されている。ここで図6に、n型窒化ガリウム系半導体3、第2ブロック層10および発光層4のエネルギーバンド図を示す。

50

【0036】

正孔ブロック層10aは、シリコンを含有するように設けられている。すなわち、正孔ブロック層10aは、シリコンをドーピングすることによって設けることができ、含有量が、例えば $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下となるように設けられている。電子トンネル層10bは、正孔ブロック層10aよりもシリコンの含有量が小さくなるように設定されており、含有量が、例えば $9.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下となるように設けられている。このようにn型窒化ガリウム系半導体層3に、正孔ブロック層10aよりもシリコンの含有量が小さい電子トンネル層10bを有する第2ブロック層10を設けることにより、第2ブロック層10の結晶性を向上させることができる。そして、第2ブロック層10の結晶性を向上させることにより、第2ブロック層10上に積層される発光層4およびp型窒化ガリウム系半導体層6の結晶性を向上させることができる。

10

【0037】

さらに、電子トンネル層5bは、厚みが、3nm以下となるように設けられている。そのため、n型窒化ガリウム系半導体層3から移動してきた電子が、伝導帯に形成された障壁をトンネルして発光層4に移動するようになる。その結果、正孔ブロック層10aよりもシリコンの含有量を小さくした電子トンネル層10bを設けることにより、第2ブロック層10の結晶性を向上させるとともに、電子トンネル層10bが電子の移動を妨げにくい構造となっていることから発光素子1の発光効率の低下を抑制することができる。

【0038】

< 発光素子の製造方法 >

次に、本発明の発光素子の製造方法の実施の形態の一例を説明する。図7および図8は、発光素子1の製造方法を説明するための断面図であり、図2に示す発光素子1のA-A'線における断面に相当する部分を示している。本例の発光素子の製造方法は、主に、光半導体層7を順次積層する工程および電極層を形成する工程を有している。以下、各工程について説明する。

20

【0039】

(光半導体層を順次積層する工程)

図7に示すように、基板2上に光半導体層7を形成する。光半導体層7は、n型窒化ガリウム系半導体層3、発光層4、ブロック層5およびp型窒化ガリウム系半導体層6を順次積層した積層構造体で構成する。光半導体層7は、基板2上に例えば有機金属気相成長法によって成長させる。光半導体層7を成長させる他の方法として、例えば分子線エピタキシー法、ハイドライド気相成長法またはパルス・レーザ・デポジション法などを用いることができる。なお、光半導体層7としてはIII-V族半導体を用いることができ、p型またはn型の導電性を半導体に付与する際には、光半導体層7を結晶成長させながら添加物を混ぜればよい。

30

【0040】

ブロック層5は、p型窒化ガリウム系半導体層6においてマグネシウムを含有させる量を変化させればよい。具体的には、電子ブロック層5aを形成する際にマグネシウムを供給するとともに、正孔トンネル層5bを形成する際にマグネシウムの供給を中止することにより、電子ブロック層5aおよび正孔トンネル層5bにおいてマグネシウムの含有量を変化させればよい。

40

【0041】

(電極層を形成する工程)

このように形成した光半導体層7に電極層を形成する。具体的には、基板2上に光半導体層7を成長させた後、エッチングなどでp型窒化ガリウム系半導体層6、ブロック層5および発光層4の一部を除去することにより、n型窒化ガリウム系半導体層3の上面を露出させる方法を用いることができる。なお、n型窒化ガリウム系半導体層3の上面の一部である露出領域Spは、n型窒化ガリウム系半導体層3の上面の一部だけでなく、n型窒化ガリウム系半導体層3の一部がエッチングで削れることによって露出した表面であってもよい。

50

【 0 0 4 2 】

そして、次に、図 8 に示すように、n 型窒化ガリウム系半導体層 3 の露出領域 S p に発光層 4、ブロック層 5 および p 型窒化ガリウム系半導体層 6 と間をあけて第 1 電極層 8 を形成する。さらに、p 型窒化ガリウム系半導体層 6 上に、第 2 電極層 9 を形成する。

【 0 0 4 3 】

第 1 電極層 8 および第 2 電極層 9 は、例えば、アルミニウム、チタン、ニッケル、クロム、インジウム、錫、モリブデン、銀、金、タンタルまたは白金などの金属や、それらの金属を含む合金膜や、酸化錫、酸化インジウムまたは酸化インジウム錫などの酸化物などを用いることができる。第 1 電極層 8 および第 2 電極層 9 を設ける方法としては、例えば金属を用いる場合は、スパッタリング法または蒸着法などを用いることができる。

10

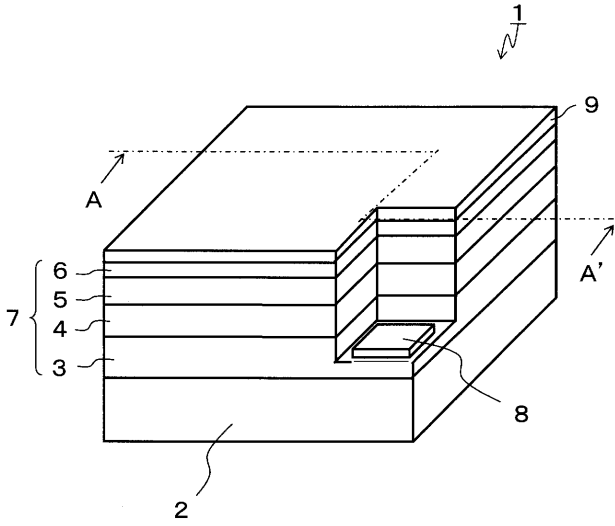
【 符号の説明 】

【 0 0 4 4 】

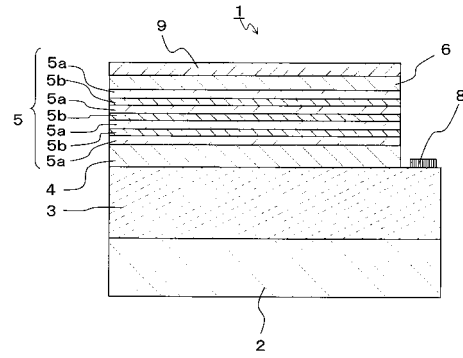
- 1 発光素子
- 2 基板
- 3 n 型窒化ガリウム系半導体層
- 4 発光層
- 5 ブロック層
 - 5 a 電子ブロック層
 - 5 b 正孔トンネル層
- 6 p 型窒化ガリウム系半導体層
- 7 光半導体層
- 8 第 1 電極層
- 9 第 2 電極層
- 10 第 2 ブロック層
 - 10 a 正孔ブロック層
 - 10 b 電子トンネル層

20

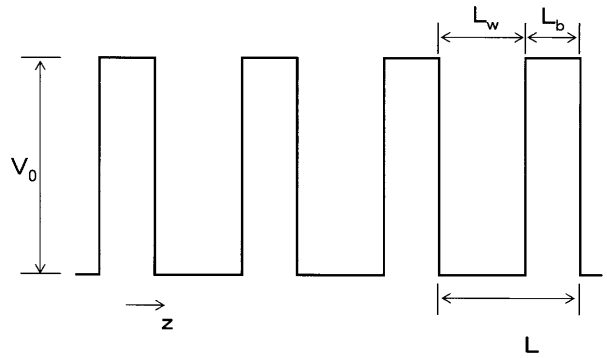
【図1】



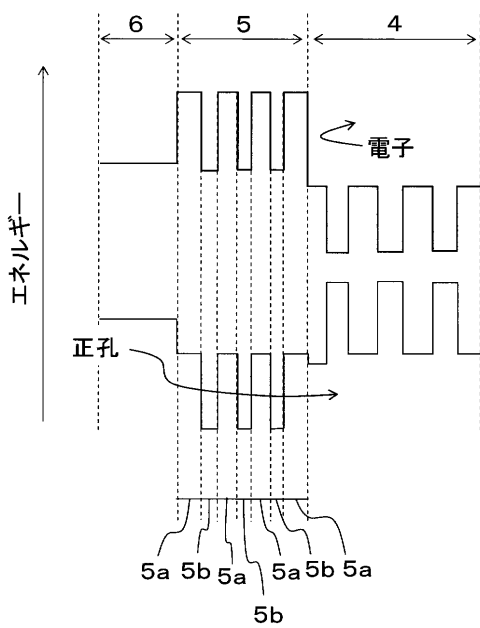
【図2】



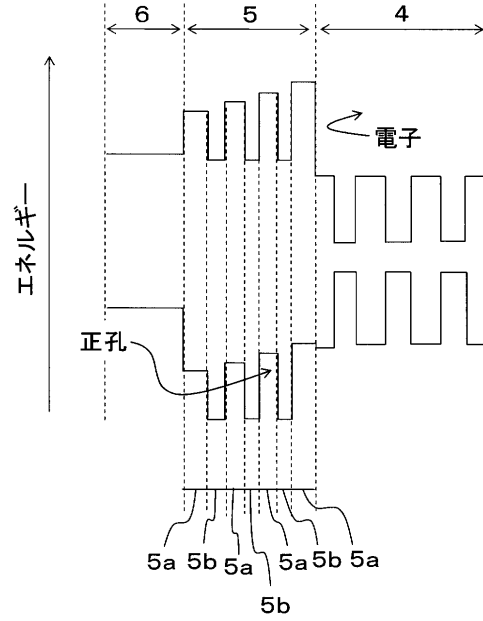
【図3】



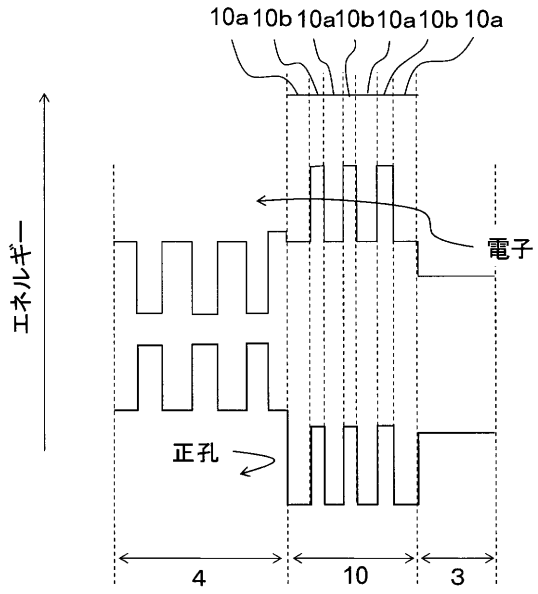
【図4】



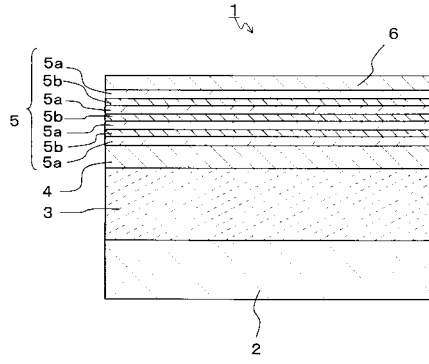
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

