

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4954536号  
(P4954536)

(45) 発行日 平成24年6月20日 (2012.6.20)

(24) 登録日 平成24年3月23日 (2012.3.23)

(51) Int.Cl.		F I
HO 1 L 33/06	(2010.01)	HO 1 L 33/00 1 1 2
HO 1 L 33/32	(2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6
HO 1 S 5/343	(2006.01)	HO 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2005-343963 (P2005-343963)	(73) 特許権者	000116024 ローム株式会社 京都府京都市右京区西院溝崎町2 1 番地
(22) 出願日	平成17年11月29日 (2005.11.29)	(74) 代理人	100098464 弁理士 河村 洸
(65) 公開番号	特開2007-150066 (P2007-150066A)	(72) 発明者	尺田 幸男 京都市右京区西院溝崎町2 1 番地 ローム株式会社内
(43) 公開日	平成19年6月14日 (2007.6.14)	審査官	土屋 知久
審査請求日	平成20年10月22日 (2008.10.22)	(56) 参考文献	特開2002-158404 (JP, A) ) 特開2003-195237 (JP, A) )

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、該基板上に設けられ、少なくとも発光部が形成される活性層を含む窒化物半導体積層部とを有し、前記活性層が  $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる井戸層と  $Al_yIn_zGa_{1-y-z}N$  ( $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $0 < y + z < 1$ 、 $z < x$ ) とからなる障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造を備える窒化物半導体発光素子であって、前記井戸層が、 $Al_vIn_wGa_{1-v-w}N$  ( $0 < v < 1$ 、 $0 < w < 1$ 、 $0 < v + w < 1$ 、 $w < x$ ) からなる薄膜障壁層により、少なくとも第1の井戸層および第2の井戸層に分割され、該少なくとも第1層および第2層に分割された井戸層の合計の厚さと前記障壁層の厚さとがほぼ同じ厚さになるように形成され、かつ、前記薄膜障壁層は、膜厚が1原子層以上、20 Å以下に形成されてなる窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】

前記第1および第2の井戸層のそれぞれの膜厚が、前記薄膜障壁層の膜厚を  $b_1$  として、 $(b_1 + 10)$  Å以上100 Å以下で、前記障壁層が50 Å以上100 Å以下である請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】

前記活性層の井戸層が、緑色または黄色の光を発光するバンドギャップエネルギーになるように形成されてなる請求項1または2記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】

前記薄膜障壁層が、前記井戸層のバンドギャップエネルギーよりも0.4 eV以上大き

い材料により形成されてなる請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子

。【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は窒化物半導体を用いた発光ダイオード(LED)やレーザダイオード(LD)などの半導体発光素子に関する。さらに詳しくは、多重量子井戸構造の活性層を有する半導体発光素子において、活性層を構成する井戸層での発光効率を高め、低閾値、低動作電流電圧駆動を実現し得る窒化物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、窒化物半導体を用いた青色系発光ダイオード(LED)やレーザダイオードなどの窒化物半導体発光素子が実用化されており、より高輝度化、高出力化のため活性層での発光効率をあげるべく多重量子井戸構造が採用されている。この窒化物半導体を用いた青色系の光を発光するLEDは、たとえば図4に示されるように、サファイア基板31上に、MOCVD法によりGaNなどからなる低温バッファ層32、GaNなどからなるn形層33と、バンドギャップエネルギーがn形層33のそれよりも小さく発光波長を定める材料、たとえばInGaN系(InとGaの比率が種々変り得ることを意味する、以下同じ)化合物半導体からなる井戸層37と、GaNやAlInGaN系(AlとInとGaの比率が種々変り得ることを意味する以下同じ)化合物半導体からなる障壁層38とが交互に積層されて形成された多重量子井戸(MQW)活性層(発光層)34と、GaNなどからなるp形層35とが積層されて半導体積層部36が形成されている。そして、その表面に透光性導電層40を介して、p側電極41が設けられ、積層された半導体積層部36の一部がエッチングされて露出するn形層33の表面にn側電極42が設けられることにより形成されている。

【0003】

なお、n形層33およびp形層35はキャリアの閉じ込め効果を向上させるため、活性層側にAlGaN系(AlとGaの比率が種々変り得ることを意味する、以下同じ)化合物などのさらにバンドギャップエネルギーの大きい半導体層が用いられることがある(たとえば特許文献1参照)。

【特許文献1】特開平10-173222号公報(図1参照)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

前述のように、活性層が多重量子井戸構造で形成されていれば、活性層(井戸層)内に量子準位が形成されるため、僅かな電流(電子と正孔)注入で、電子と正孔が再結合発光しやすいため、バルク構造と比較して高効率の半導体発光素子を実現できる。しかし、実際に窒化物半導体からなる多重量子井戸構造の活性層を採用し、素子を作製したとしても理論値程、発光効率が向上しないという問題がある。

【0005】

また、窒化物半導体を用いた長波長半導体発光素子、たとえば緑色の発光をする素子も近年開発されているが、このような素子を作製するには、活性層のバンドギャップエネルギーを小さくする(波長を長くする)ため、活性層を構成するInGaN系化合物半導体層のInの組成を大きくする手法が考えられる。しかし、活性層のInの組成を大きくすると、活性層内にInが偏析し、所望の波長が得られなかったり、In組成が大きくなることにより結晶性が悪化したり、長波長化をすればするほど発光効率は低下する。そこで、他の手法として前述の量子井戸構造を採用しつつ、井戸層の膜厚(幅)を大きくすることが考えられる。しかし、井戸層の膜厚を大きくすると、前述と同様、理論値程発光効率が上がらず、また青色や紫外の光である短波長半導体発光素子の場合よりも顕著であり、高効率の半導体発光素子を実現できないという問題がある。

10

20

30

40

50

## 【0006】

本発明はこのような問題を解決するためになされたもので、井戸層の膜厚が比較的大きな多重量子井戸構造としながら、再結合発光を促進させ発光効率の高い窒化物半導体発光素子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】

## 【0007】

本発明者は、活性層を多重量子井戸構造にしても、理論値ほど発光効率が向上しない原因について鋭意検討を重ねて調べた結果、多重量子井戸構造の活性層に窒化物半導体を用いた場合、活性層内での歪みが大きく、この歪みにより活性層内のエネルギー準位が一様でない分布をもち、この分布により電子や正孔が偏って存在することが原因であることを見出した。すなわち、窒化物半導体からなる多重量子井戸構造の活性層は、井戸層と障壁層との間で格子定数が大きく相違するため、活性層内部に歪みが生じエネルギー準位が井戸層内部で異なることになる（図3のバンド図参照）。そして、伝導帯中の電子および価電子帯中の正孔は、できる限りエネルギー的に安定な位置に存在しようとするため、井戸層内部で電子の存在分布と正孔の存在分布が異なる（伝導帯中の電子が密な位置と価電子帯中の正孔が密な位置とが異なる）ことになり、井戸層内で効率的に再結合が起こらなくなることが、発光効率が理論値ほどよくなる原因であることを見出した。

## 【0008】

そして、このような分布を解消するために、井戸層内に井戸層のバンドギャップエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有する窒化物半導体薄膜（薄膜障壁層）を挿入して井戸層を分割することで、電子と正孔はそれぞれ薄膜障壁層と分割された井戸層との界面に分布することになり、また薄膜障壁層は非常に薄い層であるため、電子と正孔が距離的に接近することになり、再結合発光が促進されることを見出した。

## 【0009】

より詳細に説明すると、図3(a)に示されるように、活性層が通常のMQW構造であれば、井戸層と障壁層との間の格子定数が異なることによる歪みにより、井戸層の伝導帯のエネルギー準位は、n側に近い領域が低くp側へ向かうに従い高くなる。一方、価電子帯のエネルギー準位は、p側に近い領域が高くn側へ向かうに従い低くなる。そうすると、n形層側から供給された電子とp形層側から供給された正孔が、井戸層内でバンド間発光を起こす場合、図3(a)に示されるように電子は、井戸層内でp形層に近い側（低エネルギー側）の密度が大きくなり（電子存在確立が高い）、正孔は、井戸層内でn形層に近い側（高エネルギー側）の密度が大きくなり（正孔存在確立が高い）、電子と正孔が安定して存在する位置が図3(a)に示されるように井戸層内で異なることになる。そうすると、電子と正孔が効率よく再結合発光しないことになり、発光効率が上がらない。

## 【0010】

一方、図3(b)に示されるように、井戸層内に井戸層のバンドギャップエネルギーよりも大きい薄膜障壁層を挿入して、井戸層を少なくとも第1および第2の井戸層に分割することにより、電子、正孔の井戸層内での動きが薄膜障壁層により止められるため、電子は薄膜障壁層により分断された第1の井戸層と薄膜障壁層との界面付近の伝導帯において密度が大きくなり、正孔は分断された第2の井戸層と薄膜障壁層との界面付近の価電子帯において密度が大きくなる。そして、この薄膜障壁層は非常に薄い層であるため、電子と正孔の密度の大きい領域が接近することになり、再結合発光の効率が高くなるのである。

## 【0011】

本発明による窒化物半導体発光素子は、基板と、該基板上に設けられ、少なくとも発光部が形成される活性層を含む窒化物半導体積層部とを有し、前記活性層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる井戸層と $\text{Al}_y\text{In}_z\text{Ga}_{1-y-z}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ,  $0 < z < 1$ ,  $0 < y + z < 1$ ,  $z < x$ ) とからなる障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造を備える窒化物半導体発光素子であって、前記井戸層が、 $\text{Al}_v\text{In}_w\text{Ga}_{1-v-w}\text{N}$  ( $0 < v < 1$ ,  $0 < w < 1$ ,  $0 < v + w < 1$ ,  $w < x$ ) からなる薄膜障壁層により、少なくとも第1の井戸層および第2の井戸層に分割され、該少なくとも第1層および第2層に分割された井

10

20

30

40

50

戸層の合計の厚さと前記障壁層の厚さとがほぼ同じ厚さになるように形成され、かつ、前記薄膜障壁層は、膜厚が1原子層以上、20以下に形成されている。

【0012】

ここに窒化物半導体とは、III族元素のGaとV族元素のNとの化合物またはIII族元素のGaの一部または全部がAl、Inなどの他のIII族元素と置換したものおよび/またはV族元素のNの一部がP、Asなどの他のV族元素と置換した化合物(窒化物)からなる半導体をいう。

【0013】

前記第1および第2の井戸層のそれぞれの膜厚が、前記薄膜障壁層の膜厚を $b_1$ として、 $(b_1 + 10)$ 以上100以下で、前記障壁層が50以上100以下とすることにより、多重量子井戸構造の量子効果を維持しつつ、再結合発光を促進できるため好ましい。

10

【発明の効果】

【0014】

本発明の窒化物半導体発光素子によれば、井戸層内に井戸層のバンドギャップエネルギーよりも大きいバンドギャップエネルギーを有する薄膜障壁層が設けられているため、薄膜障壁層により井戸層が少なくとも第1および第2の井戸層に分割され、薄膜障壁層により電子および正孔に対し障壁効果を生じさせ、電子と正孔が薄膜障壁層を挟んで第1の井戸層と第2の井戸層とで接近することになり、分断された第1および第2の井戸層に存在する電子と正孔との間で再結合発光が促進されることになる。

20

【0015】

また、薄膜障壁層の膜厚を20以下とすることで、薄膜障壁層の挿入による井戸層の機能を損なうことがなく、従前の井戸層の効果を維持し得る。このため、通常のMQW活性層を有する場合よりも非常に発光効率の優れた窒化物半導体発光素子を得ることができる。また、緑色や黄色のLEDのように井戸層の膜厚が大きい発光素子を形成する場合であっても、発光効率が低下することがない。その結果、紫外から黄色で発光するLEDやLDなどを形成しても動作電圧が低く、内部量子効率が高く、しきい値電流の小さい高特性の半導体発光素子が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

つぎに、図面を参照しながら本発明の窒化物半導体発光素子について説明をする。本発明による窒化物半導体発光素子は、図1に一実施形態である窒化物半導体発光素子(LEDチップ)の断面説明図が示されるように、基板1上に、少なくとも発光部が形成される活性層4を含む窒化物半導体積層部6とを有し、活性層4が $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる井戸層7と $Al_yIn_zGa_{1-y-z}N$  ( $0 < y < 1$ ,  $0 < z < 1$ ,  $0 < y + z < 1$ ,  $z < x$ ) とからなる障壁層8とが交互に積層された多重量子井戸構造を備える構造になっている。そして、井戸層7が、 $Al_vIn_wGa_{1-v-w}N$  ( $0 < v < 1$ ,  $0 < w < 1$ ,  $0 < v + w < 1$ ,  $w < x$ ) からなる薄膜障壁層7cにより、少なくとも第1の井戸層7aおよび第2の井戸層7bに分割され、薄膜障壁層7cは、膜厚が1原子層以上、20以下に形成されていることに特徴がある。なお、図1を始め、各図で基板の厚さが他の半導体層と比較して小さく書かれているが、実際には基板1の厚さは各半導体層より遙かに大きい。

30

40

【0017】

窒化物半導体積層部6は、具体的には、図1に示される例では、バッファ層2、および発光波長に応じたバンドギャップエネルギーを有する材料で活性層4が形成され、その上下に活性層よりバンドギャップエネルギーの大きい層(n形層3およびp形層5)が設けられるダブルヘテロ接合構造で構成される発光層形成部を有している。そして本発明では、活性層4が井戸層7と障壁層8との繰返しによる多重量子井戸構造で構成され、さらにその井戸層7が、薄膜障壁層7cにより分割された少なくとも第1および第2の井戸層7a、7bとで構成され、薄膜障壁層7cは、膜厚が1原子層(5程度)以上、20以

50

下と非常に薄い層で形成されている。

【0018】

すなわち、多重量子井戸構造の活性層を設けると、活性層内にとびとびの量子準位が形成され、僅かな電子と正孔であっても再結合発光を起こすため、低閾値、低電流低電圧で駆動させることができるが、窒化物半導体発光素子の場合、理論値ほど効率は増加しない。そこで前述のように本発明者は鋭意検討を重ねた結果、図3(a)に示されるように、窒化物半導体を用いて多重量子井戸構造の活性層を形成すると、活性層内に大きな歪みが生じることから、活性層内部(井戸層内部)での電子、正孔の分布に偏りが生じ、電子、正孔の活性層内部での存在位置が井戸層の厚さ方向でずれることになり、再結合発光が効率よく起こらないことを見出した。

10

【0019】

そして、図3(b)に示されるように、井戸層7の内部に、本来の井戸層のバンドギャップエネルギーより大きく、かつ、膜厚が1原子層以上、20以下である薄膜障壁層7cを設けて第1および第2の井戸層7a、7bの少なくとも2つに分割することにより、n形層3側から注入された電子は、第1の井戸層7aと薄膜障壁層7bとの界面付近に、p形層5側から注入された正孔は、第2の井戸層7b薄膜障壁層7bとの界面付近に分布することになり、また、薄膜障壁層7cの膜厚は、前述のように、1原子層以上20以下と非常に小さいため、電子の存在位置と正孔の存在位置が井戸層の厚さ方向で非常に接近し、再結合発光が盛んに起こるようになる。その結果、従来よりも高効率で発光する素子が得られるのである。

20

【0020】

薄膜障壁層7cは、井戸層7内に設けられ、 $Al_vIn_wGa_{1-v-w}N$  ( $0 < v < 1$ 、 $0 < w < 1$ 、 $0 < v + w < 1$ 、 $w < x$ ) からなり、本来の井戸層のバンドギャップエネルギーより大きい窒化物半導体により形成される。バンドギャップエネルギーを本来の井戸層よりも大きくするのは、電子と正孔に対して、界面で障壁の役割を果たすためである。したがって、障壁効果をよりもたせるためには、具体的に本来の井戸層のバンドギャップエネルギーよりも0.4 eV以上大きいことが好ましい。また、薄膜障壁層7cは障壁層8と同じ組成で構成することもできるし、異なる組成にして $In_{x2}Ga_{1-x2}N$  ( $0 < x < 2 < x$ ) とすることもできる。また、井戸層内の設けられる位置は、井戸層の中心部で均等に分割することもできるし、薄膜障壁層7cを複数個設けて、井戸層を3個以上に分割することもできる。中心部で2個に分割することにより分割された2個の井戸層の相互作用による発光となり、3個以上に分割することにより、分割された3個以上の井戸層の相互作用による発光となる。

30

【0021】

また、薄膜障壁層7cの膜厚は、膜厚が1原子層以上、2nm以下とする。膜厚を2nm以下とするのは、これ以上膜厚が大きくなると、電子と正孔の井戸層内の密度分布のズレが大きくなり、発光効率が向上しなくなるからである。また、薄膜障壁層7cを挿入し分割された第1および第2の井戸層7a、7bの効果を損なわないためにも、余り大きくない方が好ましく、より好ましくは1.5nm以下が望ましい。なお、薄膜障壁層7cはアンドープであってもドーピングがなされていてもよい。具体的に図1に示される例では、1nm程度でアンドープの $Al_vIn_wGa_{1-v-w}N$  ( $0 < v < 1$ 、 $0 < w < 1$ 、 $0 < v + w < 1$ 、 $w < x$ 、たとえば、 $v = w = 0$ ) からなっている。

40

【0022】

第1および第2の井戸層7a、7bは、 $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなり、薄膜障壁層7cにより分断され、それぞれの厚さ $w_1$ 、 $w_2$ は、薄膜障壁層7cの膜厚を $b_1$ とすると、 $(b_1 + 1)nm$ 以上10nm以下で形成される。 $(b_1 + 1)nm$ 以下とすると薄膜障壁層7cの井戸層7内での占める割合が大きくなりすぎ、分断された第1および第2の井戸層7aおよび7bが全体として井戸層としての機能することを阻害するからである。たとえば、第1および第2の井戸層7a、7bが狭いと井戸層内での電子と正孔の相互作用が大きくなってしまふ。分布がかたよっても井戸が狭いとかたよりの影響が小さい

50

。また、10 nm以下とすることで量子効果が十分に発揮されるため好ましい。なお、第1および第2の井戸層7a、7bはアンドープであってもn形またはp形のドーピングがなされていてもよい。また薄膜障壁層7cにより分断されることで第1および第2の井戸層7a、7bの間で膜厚が相違してもよい。具体的に図1で示される例では、たとえば分断された井戸層7aおよび7bはそれぞれ3 nm程度のアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ 、たとえば $x = 0.12$ )からなっている。

#### 【0023】

障壁層8は、 $\text{Al}_y\text{In}_z\text{Ga}_{1-y-z}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $0 < y + z < 1$ 、 $z < x$ ) からなり、電子または正孔のキャリア閉じ込めを維持する点や量子効果を維持する点から、膜厚 $b_2$ は3 ~ 20 nm、より好ましくは5 ~ 10 nm程度で、ほぼ第1の井戸層7aの厚さ $w_1$ と第2の井戸層7bの厚さ $w_2$ との和程度とする。なお、この障壁層8もアンドープであってもドーピングがなされていてもよい。具体的に図1に示される例では6 nm程度のアンドープの $\text{Al}_y\text{In}_z\text{Ga}_{1-y-z}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $0 < y + z < 1$ 、 $z < x$ 、たとえば $y = z = 0$ )からなっている。

10

#### 【0024】

そして、薄膜障壁層7cを含む井戸層7と障壁層8は、図1に示される例では3ペアで交互に積層されているが、ペア数はこれに限定されず、2 ~ 8ペアで交互に積層され全体で0.01 ~ 0.3  $\mu\text{m}$ 程度の厚さに形成され、多重量子井戸構造の活性層4とされる。また、図1に示される例では、障壁層8がそれぞれ活性層4の終端となっているが、この形に限定されず、活性層は、井戸層から始まり井戸層で終る、井戸層から始まり障壁層で終る、障壁層から始まり井戸層で終る、障壁層から始まり障壁層で終る、のいずれの構成であってもよい。また、活性層5を構成する井戸層、障壁層の組成や材料は、発光させる光の波長により定められるため、適宜組成を変更することができる。

20

#### 【0025】

n形層3およびp形層5は、図1に示される例では、活性層4よりバンドギャップエネルギーの大きい $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$  ( $0 < s < 1$ 、たとえば $s = 0.07$ )層によりキャリアを活性層4に閉じ込める障壁層として機能するように設けられている。しかし、このような構成でなくても、活性層で発光するようにn形層とp形層とが設けられていればよい。n形層3は0.1 ~ 10  $\mu\text{m}$ 程度設けられ、p形層5は0.1 ~ 10  $\mu\text{m}$ 程度設けられている。このn形層3とp形層5とは同じ組成でもよいし、異なる組成で形成されてもよく、必ずしもこれらの材料にも限定はされない。また、n形層3およびp形層5は、それぞれ単層に限らず、たとえば活性層との境界部分に光ガイド層などを設けてもよいし、キャリアの閉じ込めを良くするため活性層側にバンドギャップエネルギーの大きい $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ を設け、反対側にGa<sub>2</sub>N層を設けても良いし、各層中に反射層などを設けてもよい。また、全体をGa<sub>2</sub>Nにより形成することもできる。

30

#### 【0026】

n形に形成するためには、Se、Si、Ge、Teを $\text{H}_2\text{Se}$ 、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{GeH}_4$ 、 $\text{TeH}_4$ などの不純物原料ガスとして反応ガス内に混入すれば得られ、p形にするためには、MgやZnをシクロペンタジエニルマグネシウム( $\text{Cp}_2\text{Mg}$ )またはジメチル亜鉛( $\text{DMZn}$ )の有機金属ガスとして原料ガスに混入することにより得られる。

40

#### 【0027】

この活性層4以外は従来と同様の構造であるが、図1に示される例では、基板1として絶縁性基板であるサファイア基板が用いられている。サファイア基板を用いる場合には、図1に示されるように一般的には低温成長されたアンドープのGa<sub>2</sub>Nからなるバッファ層2が設けられる。また、基板としてサファイアに限らず、SiC、Ga<sub>2</sub>N、GaAs、Si、GaP、ZnOなどの半導体基板を用いることもできる。サファイアのような絶縁性基板を用いる場合には、基板の裏面から電極を取り出すことができないため、半導体積層部の一部をエッチング除去して下層の導電形層(図1に示される例ではn形層3)を露出させる必要があるが、半導体基板を用いる場合には、ドーピングすることにより導電性とし得るため、後述するように基板の裏面に直接電極を設けることができる。

50

## 【0028】

窒化物半導体積層部6上に、たとえばZnOからなる透光性導電層10が0.1~10 $\mu$ m程度設けられ、その上の一部に、TiとAuとの積層構造により上部電極(p側電極)11が形成される。この透光性導電層10は、ZnOに限定されるものではなく、ITO、またはNiとAuとの2~100nm程度の薄い合金層でもよく、光を透過させながら、電流をチップ全体に拡散することができるものであればよい。Ni-Au層の場合、金属層であることから厚くすると透光性でなくなるため、薄く形成されるが、ZnOやITOの場合は光を透過させるため、厚くても構わない。この透光性導電層10は、窒化物半導体層、とくにp形窒化物半導体層はキャリア濃度を大きくし難く、電流をチップの全面に拡散し難いこと、および電極パッドとする金属膜からなるp側電極11とのオーミック

10

## 【0029】

p側電極11は、図1に示される例では半導体積層部6の上面側がp形からなる層であるため、上面に形成されており、たとえばTi/Au、Pd/AuまたはNi-Auなどの積層構造で、全体として0.1~1 $\mu$ m程度の厚さに形成されている。また、n形層3の一部露出部に下部電極(n側電極)12が、たとえばTi-Al合金またはTi/Auの積層構造などで、全体として0.1~1 $\mu$ m程度の厚さに形成される。そして、表面にp側電極11およびn側電極12の表面を除いて、全面に図示しないSiO<sub>2</sub>などのパシベーション膜が設けられている。

20

## 【0030】

つぎに、具体例で本発明の窒化物半導体発光素子の製法について簡単に説明する。まず、サファイア基板1を、たとえばMOCVD(有機金属化学気相成長)装置内にセッティングし、成長する半導体層の成分ガス、たとえばトリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム(AlGa系層を形成する場合)、トリメチルインジウム、アンモニアガス、n形ドーパントガスとしてのH<sub>2</sub>Se、SiH<sub>4</sub>、GeH<sub>4</sub>、TeH<sub>4</sub>のいずれか、また、p形ドーパントガスとしてDMZnもしくはしくCp<sub>2</sub>Mgのうちの必要なガスをキャリアガスのH<sub>2</sub>ガスと共に導入し、基板温度を400~550 $^{\circ}$ C、たとえば450 $^{\circ}$ C程度でAlGa系化合物(Alの混晶比が0の場合も含む)からなる低温バッファ層2が0.005~0.1 $\mu$ m程度、その後、基板温度を800~1200 $^{\circ}$ C、たとえば1065 $^{\circ}$ C

30

## 【0031】

その後SiO<sub>2</sub>保護膜を窒化物半導体積層部の表面全面に設け、400~800 $^{\circ}$ C、20~60分間程度のアニールを行って、p形層5の活性化を行う。アニールが完了すると、ウェハをスパッタリング装置または真空蒸着装置に入れてp形層5の表面に、ZnOからなる透光性導電層10を0.3 $\mu$ m程度形成する。このZnOは、Gaをドーブして3~5 $\times 10^{-4}$ ・cm程度の比抵抗になるように成膜する。さらにTi、Alなど成膜してp側電極11を形成する。また、積層された半導体層の一部がエッチングにより除去されて露出するn形層3にn側電極12が、たとえばTi/AuまたはCr/Pt/Auなどを積層して形成されている。

50

## 【0032】

最後にプラズマCVD法により図示しないSiO<sub>2</sub>膜でチップ全体を覆い、電極部に開口部を形成する。その後、ウェハからチップ化することにより、図1に示される構造の発光素子チップが形成される。なお、チップ化する際に、半導体積層部6のチップ境界部分は、予めドライエッチングによりメサ状にエッチングする。

## 【0033】

前述の例では基板として絶縁性であるサファイア基板を用いたが、半導体基板を用いる場合でも、同様に井戸層内に薄膜障壁層を設けることにより、高効率の発光素子を形成することもできる。半導体積層部の構造は前述の積層構造と同じであり、半導体基板の場合、その例が図2に同様の断面説明図で示されるように、基板裏面から一方の電極、たとえばn側電極12を取り出すことができる。図2に示される例では、たとえば基板1としてSiC基板が用いられ、基板1上に、AlGa<sub>0.2</sub>N系化合物(Alの混晶比が0の場合も含む)からなるバッファ層2、たとえばn形のAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を0.2μm程度成長する。

## 【0034】

なお、バッファ層2の組成はこの例には限定されない。そして、このバッファ層2上に、SiをドープしたGa<sub>0.2</sub>N系化合物からなるn形層3が1~10μm程度、前述と同様の構成の薄膜障壁層7cを含む多重量子井戸(MQW)構造の活性層4がそれぞれ積層され、MgをドープしたGa<sub>0.2</sub>N系化合物からなるp形層が0.2~1μm程度、たとえば0.25μm程度、それぞれ順次積層され窒化物半導体積層部6が積層され、この半導体積層部6上に、前述の例と同様に透光性導電層10およびp側電極11が形成され、その後、SiC基板1の裏面側をラッピングすることにより、SiC基板1を薄くして、基板1の裏面に、Ti、Auなどの金属膜を同様に成膜することにより、n側電極12を形成する。そして、図示しないSiO<sub>2</sub>などのパシベーション膜を設けられている。

## 【0035】

前述の例では、p形層を表面側に形成しているが、この構造にすればp形層を活性化のためアニールするのに都合がよいためである。しかし、基板および活性層より基板側をp形にすることもできる。また、窒化物半導体は、前述の例に限らず、Al<sub>p</sub>Ga<sub>q</sub>In<sub>1-p-q</sub>N(0 ≤ p ≤ 1、0 ≤ q ≤ 1、0 ≤ p+q ≤ 1)の一般式で表される窒化物材料により、構成することができる。また、このNの一部を他のV族元素で置換する化合物にすることもできる。また、発光層形成部を、活性層をn形層とp形層とで挟持するサンドイッチ構造のダブルヘテロ構造にしたが、さらにガイド層など他の半導体層がいずれかの層間に挿入されていてもよい。

## 【0036】

さらに、前述の例はLEDの例であったが、半導体レーザーでも同様に活性層の井戸層内に薄膜障壁層が設けられることにより、内部量子効率を向上させることができる。

## 【0037】

以上のように、本発明によれば、活性層の井戸層内に井戸層のバンドギャップエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有し薄膜の薄膜障壁層が設けられて、井戸層が第1の井戸層および第2の井戸層に分割されているため、井戸層の幅が広い(膜厚が大きい)場合であっても、電子と正孔の距離は近く、再結合発光を容易に起こすことができる。その結果、井戸層で正孔と電子との再結合が効率よく行われ、無駄な電流が少なく内部量子効率を大幅に向上させることができ、紫外から黄色発光まで幅広い波長帯で高効率のLEDやLDを作製することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0038】

【図1】本発明による窒化物半導体素子の一実施形態であるLEDの断面説明図である。

【図2】本発明の窒化物半導体発光素子の他の構造例を示す断面説明図である。

【図3】本発明の活性層付近のバンドギャップエネルギー図、およびそれに対応した素子構造を説明する図である。

10

20

30

40

50

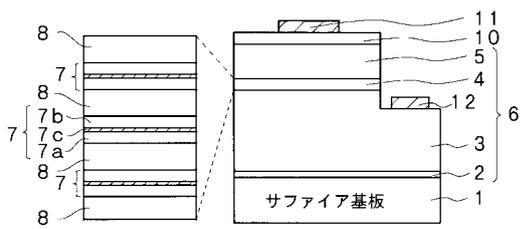
【図4】従来の窒化物半導体を用いたLEDの構成例を示す図である。

【符号の説明】

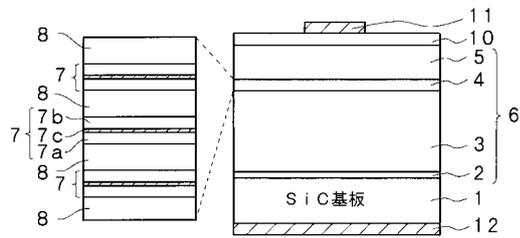
【0039】

- 1 基板
- 3 n形層
- 4 活性層
- 5 p形層
- 6 半導体積層部
- 7 井戸層
- 7 a 第1の井戸層
- 7 b 第2の井戸層
- 7 c 薄膜障壁層
- 8 障壁層

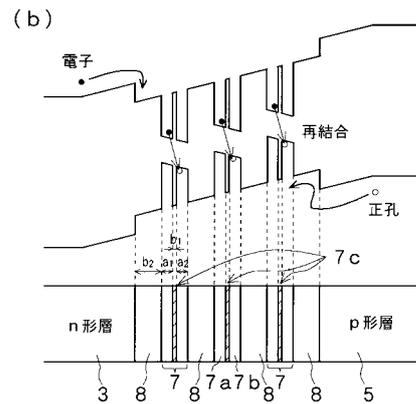
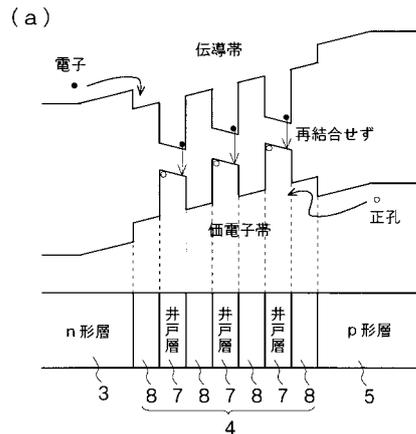
【図1】



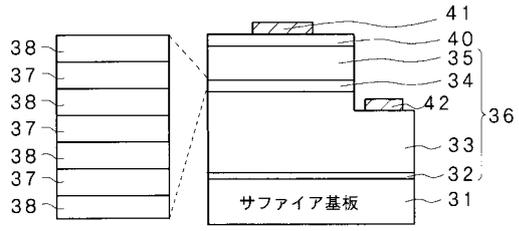
【図2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01L 33/00 - 33/64  
H01S 5/00 - 5/50