

(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2013-69795  
(P2013-69795A)

(43) 公開日 平成25年4月18日(2013.4.18)

(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  
 5 F 1 4 1

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2011-206425 (P2011-206425)  
 (22) 出願日 平成23年9月21日 (2011. 9. 21)

(71) 出願人 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100108062  
 弁理士 日向寺 雅彦  
 (72) 発明者 菊地 拓雄  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社  
 東芝内  
 (72) 発明者 藪原 秀彦  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社  
 東芝内  
 (72) 発明者 張 ▲チー▼揚  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社  
 東芝内

最終頁に続く

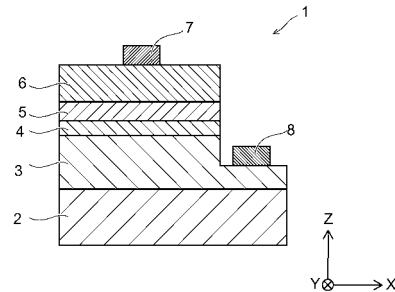
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 発光効率を改善した半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 n形半導体層と、p形半導体層と、発光層と、電子ブロック層と、を備えた半導体発光素子が提供される。前記発光層は、前記n形半導体層と前記p形半導体層との間に設けられ、窒化物半導体を含む。前記電子ブロック層は、前記発光層と前記p形半導体層との間に設けられ、前記発光層から前記p形半導体層の方向に増加するアルミニウム組成比を有する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

n 形半導体層と、  
p 形半導体層と、  
前記 n 形半導体層と前記 p 形半導体層との間に設けられ、窒化物半導体を含む、発光層と、  
前記発光層と前記 p 形半導体層との間に設けられ、前記発光層から前記 p 形半導体層の方向に増加するアルミニウム組成比を有する電子ブロック層と、  
を備えた半導体発光素子。

## 【請求項 2】

前記電子ブロック層の前記発光層の側におけるアルミニウム組成比は、ゼロである請求項 1 記載の半導体発光素子。

## 【請求項 3】

前記電子ブロック層のアルミニウム組成比は、前記発光層から前記 p 形半導体層の方向に直線的に増加する請求項 1 または 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 4】

前記電子ブロック層のアルミニウム組成比は、前記発光層から前記 p 形半導体層の方向に曲線的に増加する請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

## 【請求項 5】

前記電子ブロック層のアルミニウム組成比は、前記発光層から前記 p 形半導体層の方向に階段状に増加する請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

## 【請求項 6】

前記電子ブロック層は、 $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$  ( $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、 $0 < y + z < 1$ ) である請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明の実施形態は、半導体発光素子に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体発光素子、例えば、発光ダイオード (light-emitting diode: LED) は、電子と正孔との再結合により光を発生させるため、フィラメント型の光源と比較して省エネルギー・長寿命の光源である。また、様々な波長の光を発生させることができ、例えば、窒化物半導体を用いた発光素子は、青色系の短波長領域で発光させることもできる。

このような窒化物半導体を用いた発光素子においては、発光効率を高くするために複数の井戸層と障壁層とを積層した多重量子井戸 (Multi-Quantum Well: MQW) 構造が用いられる。しかし、MQW 構造を用いた場合、低電流での効率は良いが、高電流において量子効率が低下する傾向 (Efficiency droop) がある。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】国際公開第 WO 2005 / 034301 号

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

本発明の実施形態は、発光効率を改善した半導体発光素子を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

実施形態によれば、n 形半導体層と、p 形半導体層と、発光層と、電子ブロック層と、を備えた半導体発光素子が提供される。前記発光層は、前記 n 形半導体層と前記 p 形半導

10

20

30

40

50

体層との間に設けられ、窒化物半導体を含む。前記電子ブロック層は、前記発光層と前記 p 形半導体層との間に設けられ、前記発光層から前記 p 形半導体層の方向に増加するアルミニウム組成比を有する。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】第1の実施形態に係る半導体発光素子を例示する模式的断面図である。

【図2】半導体発光素子における発光層を例示する模式的断面図である。

【図3】半導体発光素子における電子ブロック層近傍のアルミニウム組成比の分布図である。

【図4】半導体発光素子における電子ブロック層近傍のエネルギーバンド図である。

10

【図5】半導体発光素子の内部量子効率と電流密度の関係を例示する特性図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下、実施形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の形状や縦横の寸法の関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。また、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0008】

20

まず、第1の実施形態について説明する。

図1は、第1の実施形態に係る半導体発光素子を例示する模式的断面図である。

図2は、半導体発光素子における発光層を例示する模式的断面図である。

半導体発光素子1は、基板2の上に設けられたn形半導体層3と、電子と正孔との再結合により発光する発光層4と、発光層4に注入される電子のオーバーフローイング(overflowing)を防ぐ電子ブロック層5と、p形半導体層6と、を備える。また、半導体発光素子1は、p形半導体層6に接続されたp側電極7と、n形半導体層3に接続されたn側電極8と、を備えている。半導体発光素子1は、p側電極7とn側電極8との間に流れる電流により発光する発光ダイオードである。

【0009】

30

基板2は、例えばサファイア基板であり、n形半導体層3などの窒化物半導体層の成長のために用いられる。サファイア基板は、六角-ロンボ形(Hexa-Rhombo R3c)対称性を有する結晶体である。c軸及びa軸方向の格子定数は、それぞれ13.001と4.758であり、C(0001)面、A(1120)面、R(1102)面などを有する。上記C面は、窒化物薄膜の成長が比較的容易で、高温で安定するため窒化物成長用基板として主に使用される。なお、基板2は、サファイア基板の代わりにSiC、Si、GaN、AlNなどからなる基板でもよい。

【0010】

また、基板2の主面に対して垂直な軸をZ軸とし、Z軸に対して垂直な1つの軸をX軸とし、Z軸とX軸とに対して垂直な軸をY軸とする。以下の説明においては、方向を示すためにX軸、Y軸及びZ軸を用いる。

40

【0011】

n形半導体層3は、基板2の上に設けられている。n形半導体層3は、 $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$  (0 < y < 1、0 < z < 1、0 < y + z < 1)の組成式で表される半導体からなり、n形不純物がドーピングされた窒化物半導体を含む。n形半導体層3は、例えば、GaN、AlGaN、InGaNである。また、n形不純物は、例えばSi、Ge、Se、Te、Cである。

n形半導体層3は、例えば有機金属気相蒸着法(MOCVD)、分子ビーム成長法(MBE)及びハイブリッド気相蒸着法(HVPE)などで形成することができる。なお、n形半導体層3は、図示しないバッファ層を介して基板2の上に設けることができる。

50

## 【0012】

発光層4は、n形半導体層3とp形半導体層6との間に設けられている。発光層4は、 $N+1$ 層( $N$ は自然数)の障壁層 $QB_n$ ( $n=1, \dots, N+1$ )と、障壁層 $QB_n$ と障壁層 $QB_{n+1}$ との間にそれぞれ設けられた $N$ 層の井戸層 $QW_n$ と、を有している。すなわち、発光層4は、障壁層 $QB_1$ と障壁層 $QB_{N+1}$ との間に、障壁層 $QB_n$ ( $n=2, \dots, N$ )と井戸層 $QW_n$ とが交互に繰り返して積層された構造を有する。図2に例示したとおり、本実施形態における発光層4は、組数 $N=8$ 、すなわち、障壁層 $QB_1$ と障壁層 $QB_9$ との間に、障壁層 $QB_n$ と井戸層 $QW_n$ とが8組積層されている。しかし、組数 $N$ は、 $N=8$ に限定されず、例えば $N=5\sim 10$ とすることもできる。

## 【0013】

障壁層 $QB_n$ は、 $Al_yIn_zGa_{1-y-z}N$ ( $0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, 0 \leq y+z \leq 1$ )の組成式を有する窒化物半導体を含む。井戸層 $QW_n$ は、 $In_zGa_{1-z}N$ ( $0 \leq z \leq 1$ )の組成式を有する窒化物半導体を含む。障壁層 $QB_n$ は、例えば $GaN$ 、井戸層 $QW_n$ は、例えば $In_{0.2}Ga_{0.8}$ である。

## 【0014】

井戸層 $QW_n$ は、障壁層 $QB_n$ よりも $In$ の組成比が高く、井戸層 $QW_n$ のバンドギャップは、障壁層 $QB_n$ のバンドギャップよりも狭い。その結果、各井戸層 $QW_n$ は、障壁層 $QB_n$ と障壁層 $QB_{n+1}$ との間にそれぞれ量子井戸を構成する。そして、障壁層 $QB_n$ と井戸層 $QW_n$ とが $N$ 組積層された発光層4は、多重量子井戸(MQW)を構成する。

## 【0015】

障壁層 $QB_n$ 、井戸層 $QW_n$ は、n形半導体層3と同様に、例えば、有機金属気相蒸着法(MOCVD)、分子ビーム成長法(MBE)及びハイブリッド気相蒸着法(HVPE)などで形成することができる。

## 【0016】

なお、発光層4は、超格子を構成する超格子層(図示せず)を介して、n形半導体層3の上に設けることができる。例えば、発光層4よりも $In$ の比率( $x$ )の小さい( $x < z$ )、 $In_xGaN$ と $GaN$ とを交互に積層した超格子層を設けることにより、発光層4における格子歪みを低減して、発光効率の低下を抑制することができる。

## 【0017】

電子ブロック層5は、発光層4とp形半導体層6との間に設けられている。電子ブロック層5は、 $Al_xGa_{1-x}N$ ( $0 \leq x \leq 1$ )の組成式を有する窒化物半導体を含む。電子ブロック層5は、発光層4やp形半導体層6などの他の層と比較して、バンドギャップ $E_b$ が広く、発光層4からp形半導体層6へ流れる電子に対して障壁となる。そのため、n形半導体層3から注入される電子のp形半導体層6へのオーバーフローを防いで電子を発光層4に閉じこめることができる。

## 【0018】

図3は、半導体発光素子における電子ブロック層の近傍のアルミニウム組成比の分布図である。

図4は、半導体発光素子における電子ブロック層の近傍のエネルギーバンド図である。

図3においては、横軸にZ軸をとって、電子ブロック層5の近傍における厚さ方向の位置を表し、縦軸に電子ブロック層5近傍のアルミニウム( $Al$ )組成比を模式的に表している。また、図4においては、横軸にZ軸をとり、縦軸にエネルギー $E$ をとって、エネルギーバンドを実線で表している。また、比較のため、アルミニウム( $Al$ )組成比が均一の場合のエネルギーバンドを一点鎖線で表している。

## 【0019】

電子ブロック層5のアルミニウム組成比は、Z軸の正方向、すなわち発光層4からp形半導体層6の方向に向けて増加している。電子ブロック層5のバンドギャップ $E_b = E_c - E_v$ は、発光層4側で狭く、発光層4からp形半導体層6の方向に向けて広がり、p形半導体層6側で最も広い構造になる(図4の実線)。その結果、電子ブロック層5のアルミニウム( $Al$ )組成比が一定の場合(図4の一点鎖線)と比較して、電子に対するプロ

10

20

30

40

50

ック性を損なうことなく、正孔の発光層 4 への注入効率を高めることが可能である。なお、 $E_c$  は、伝導帯端のエネルギーであり、 $E_v$  は、価電子帯端のエネルギーである。

#### 【0020】

なお、図 3 に実線で表した具体例においては、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比が、発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて直線的に増加する構成を例示している。しかし、本実施形態はこれには限定されない。すなわち、アルミニウム組成比は、発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて増加していればよく、必ずしも直線的でなくてもよく、例えば階段状に増加してもよく、例えば曲線的に増加してもよい。また、アルミニウム組成比は、発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて、単調に増加していなくてもよい。例えば、図 3 の破線で表したように、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比は、Z 軸の正方向に向けて減少して電子ブロック層 5 内で最小となり、さらに Z 軸の正方向に向けて増加してもよい。

10

#### 【0021】

再度図 1 に戻ると、p 形半導体層 6 は、電子ブロック層 5 の上に設けられている。

p 形半導体層 6 は、 $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$  ( $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $0 \leq y+z \leq 1$ ) の組成式を有し、p 形不純物がドーピングされた窒化物半導体を含む。p 形半導体層 6 は、例えば、GaN、AlGaN、InGaN である。また、p 型不純物は、例えば、Mg、Zn、Be である。

p 形半導体層 6 は、n 形半導体層 3 と同様に、例えば有機金属気相蒸着法 (MOCVD)、分子ビーム成長法 (MBE) 及びハイブリッド気相蒸着法 (HVPE) などで形成することができる。

20

#### 【0022】

p 側電極 7 は、p 形半導体層 6 の上に設けられ、p 形半導体層 6 と電気的に接続される。なお、p 側電極 7 は、図示しない電流拡散層を介して、p 形半導体層 6 の上に設けることができる。

n 側電極 8 は、n 形半導体層 3 の上に設けられ、n 形半導体層 3 と電気的に接続される。例えば、RIE (Reactive Ion Etching) 法を用いて、n 形半導体層 3、発光層 4、電子ブロック層 5 及び p 形半導体層 6 にメサ構造が形成され、メサ溝の底面に露出した n 形半導体層 3 のエッチング面に、n 側電極 8 が設けられる。

#### 【0023】

p 側電極 7 と n 側電極 8 との間に電流を流すことにより、発光層 4 の井戸層 QWn には、n 形半導体層 3 から電子が注入され、p 形半導体層 6 から電子ブロック層 5 を介して正孔が注入される。そして、注入された電子と正孔とが再結合すると、発光層 4 は発光する。

30

#### 【0024】

図 5 は、半導体発光素子の内部量子効率と電流密度の関係を例示する特性図である。

図 5 においては、電子ブロック層 5 の構成が異なる 2 つの場合の、内部量子効率と電流密度との関係のシミュレーション結果を実線及び一点鎖線でそれぞれ表している。電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比が発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて増加している構成を実施例として、実線で表している。また、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比が均一の構成を比較例として、一点鎖線で表している。

40

#### 【0025】

上記実施例におけるシミュレーションの条件は、以下のとおりである。

n 形半導体層 3 は、厚さが 100 nm であり、Si をドーピングしたキャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の n 形 GaN である。井戸層 QWn は、厚さ 2.5 nm の  $In_{0.15} Ga_{0.85} N$  である。障壁層 QBn は、厚さ 10 nm の GaN である。発光層 4 は、上記の井戸層 QWn と障壁層 QBn とを 5 組積層して構成される。n 形半導体層 3 と発光層 4 との間に、厚さ 1 nm の  $In_{0.05} Ga_{0.95} N$  と、厚さ 1 nm の GaN と、を 20 組積層した超格子層が設けられている。電子ブロック層 5 は、厚さ 10 nm の  $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0.01 \leq x \leq 0.2$ ) である。p 形半導体層 6 は、厚さが 100 nm であり、

50

Mgをドーピングしたキャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の p 形 GaN である。また、p 形半導体層 6 と p 側電極 7 との間に、厚さ 100 nm の ITO で構成された電流拡散層が設けられている。

【0026】

図 5 に表したように、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比が発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて増加している実施例は、アルミニウム組成比が均一の比較例よりも内部量子効率が高くなっている。すなわち、高電流密度において内部量子効率が低下する傾向 (Efficiency droop) はあるものの、実施例は、比較例よりも全体的に内部量子効率が高くなっている。

【0027】

実施例においては、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比が、発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて増加している。電子ブロック層 5 のバンドギャップ  $E_b$  は、発光層 4 側で狭く、発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて広がり、p 形半導体層 6 側でも広い構造になる (図 5 の実線)。その結果、電子ブロック層 5 のアルミニウム (Al) 組成比が一定の場合 (図 5 の一点鎖線) と比較して、電子に対するブロック性を損なうこと無く、正孔の発光層 4 への注入効率が向上したと考えられる。

【0028】

なお、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比を発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて増加させたことにより、実効的 (電氣的な) な電子ブロック層 5 の膜厚が薄くなることも考えられる。例えば、発光層 4 に高電圧がかかる場合など、電子ブロック層 5 に到達する電子のエネルギーが高く、トンネル電流によるオーバーフロー電流が増加する可能性もある。しかし、この場合には、電子ブロック層 5 の膜厚を増加することで、電子に対するブロック性を確保し、かつ正孔の注入効率も維持することが可能と考えられる。

【0029】

次に、本実施形態の効果について説明する。

本実施形態においては、電子ブロック層 5 のアルミニウム組成比が、発光層 4 から p 形半導体層 6 の方向に向けて増加している。その結果、電子に対するブロック性を損なうことなく、正孔の発光層 4 への注入効率を高めて発光効率を改善することが可能である。

【0030】

また、AlN は、アクセプターの活性化エネルギーが大きいため、アクセプターが活性化し難く、正孔濃度が低くなる可能性がある。

本実施形態においては、電子ブロック層 5 としてアルミニウムの濃度が低い層を発光層 4 側に配置している。その結果、アクセプターを活性化しやすくし、発光層 4 近傍での正孔濃度を高めることができ、内部量子効率を向上させて発光効率を改善することができる。

【0031】

またさらに、本実施形態においては、発光層 4 と p 形半導体層 6 との間に、電子ブロック層 5 を、緩やかに組成を変化させて形成している。その結果、格子ミスマッチに起因した転位などの欠陥が生じにくく、内部量子効率を向上させて発光効率を改善することができる。

【0032】

なお、本実施形態においては、電子ブロック層 5 がアルミニウムを含む AlGaIn の構成を例示して説明したが、電子ブロック層 5 は、他の窒化物半導体やワイドバンドギャップ材料でも良い。

【0033】

なお、本願明細書において、「窒化物半導体」とは、 $B_x In_y Al_z Ga_{(1-x-y-z)} N$  ( $0 \leq x < 1$ ,  $0 \leq y < 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ,  $0 \leq x+y+z < 1$ ) の III-V 族化合物半導体を含み、さらに、V 族元素としては、N (窒素) に加えてリン (P) や砒素 (As) などを含む混晶も含むものとする。

【0034】

10

20

30

40

50

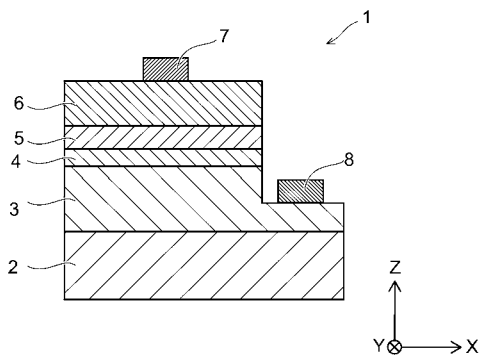
本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】

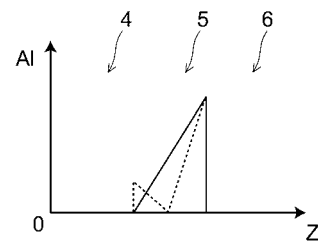
【0035】

1、1 a、1 b 半導体発光素子、 2 ... 基板、 3 ... n形半導体層、 4 ... 発光層、  
 5 ... 電子ブロック層、 6 ... p形半導体層、 7 ... p側電極、 8 ... n側電極、 Q B  
 1 ~ Q B 8、Q B n ... 井戸層、 Q W 1 ~ Q W 9、Q W n ... 障壁層

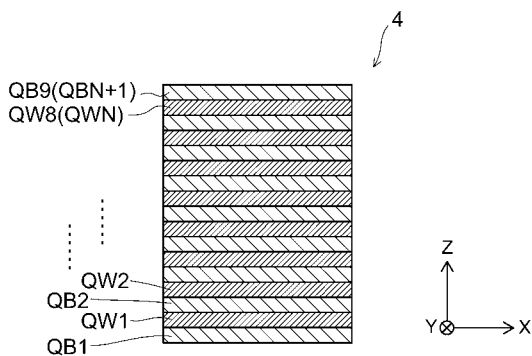
【図1】



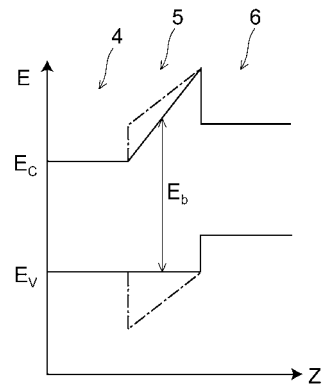
【図3】



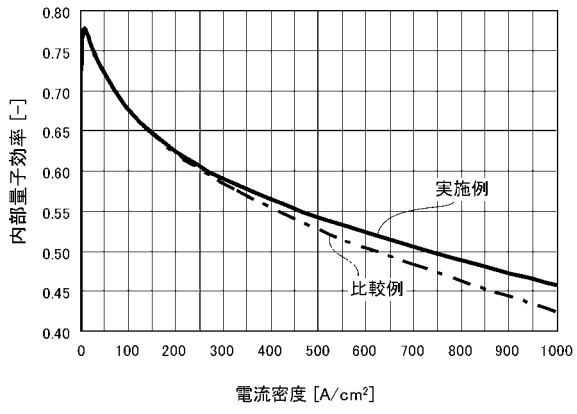
【図2】



【図4】



【 図 5 】





---

フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA40 CA64 CA65 CA66 CA74 CB36  
5F141 AA03 CA04 CA05 CA40 CA64 CA65 CA66 CA74 CB36