

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3981797号  
(P3981797)

(45) 発行日 平成19年9月26日(2007.9.26)

(24) 登録日 平成19年7月13日(2007.7.13)

(51) Int. Cl.

H 0 1 L 33/00

(2006.01)

F I

H 0 1 L 33/00

C

請求項の数 4 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2000-103216 (P2000-103216)	(73) 特許権者	000106276
(22) 出願日	平成12年4月5日(2000.4.5)		サンケン電気株式会社
(65) 公開番号	特開2001-291896 (P2001-291896A)		埼玉県新座市北野3丁目6番3号
(43) 公開日	平成13年10月19日(2001.10.19)	(74) 代理人	100072154
審査請求日	平成16年9月17日(2004.9.17)		弁理士 高野 則次
		(72) 発明者	大塚 康二
			埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケ
			ン電気株式会社内
		(72) 発明者	空 哲次
			埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケ
			ン電気株式会社内
		(72) 発明者	柳原 将貴
			埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケ
			ン電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

導電性を有する半導体基板と、

前記半導体基板の一方の主面上に形成された導電性を有する反射領域と、

前記反射領域の上に形成されており且つ窒化ガリウム系化合物から成る第1の導電形の第1の半導体領域と、

前記第1の半導体領域の上に形成されており且つ窒化ガリウム系化合物から成り且つ前記第1の導電形と反対の第2の導電形を有している第2の半導体領域と、

前記第2の半導体領域の表面上の一部に形成された第1の電極と、

前記半導体基板の他方の主面に形成された第2の電極とを備え、

前記反射領域は、相対的に低い屈折率を有する低屈折率領域と、前記低屈折率領域の屈折率よりも大きい屈折率を有する高屈折率領域とが交互に積層されたものから成り、

前記低屈折率領域はバリア層と井戸層とが交互に積層されたものから成り、

前記高屈折率領域は井戸層とバリア層とが交互に積層されたものから成り、

前記高屈折率領域の井戸層は  $\text{In}$  (インジウム) を含む窒化物から成り、前記低屈折率領域のバリア層及び井戸層、及び前記高屈折率領域のバリア層は  $\text{In}$  を含まないか又は前記高屈折率領域の井戸層の  $\text{In}$  の含有率よりも低い含有率で  $\text{In}$  を含む窒化物から成ることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】

前記低屈折率領域の井戸層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  (但し、 $z$  は  $0 < z < 0.5$  を満足する

10

20

数値)から成り、

前記低屈折率領域のバリア層は、 $Al_wGa_{1-w}N$  (但し、 $w$ は $w > z$ を満足する数値)から成り、

前記高屈折率領域の井戸層は、 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  (但し、 $x$ 及び $y$ は $0 < x < 0.5$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ を満足する数値)から成り、

前記高屈折率領域のバリア層は、 $Al_tGa_{1-t}N$  (但し、 $t$ は $0 < t < 1$ 及び $0 < 1 - t < 1$ を満足する数値)から成ることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

#### 【請求項3】

前記第1の半導体領域と前記第2の半導体領域との間に活性層が介在していることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体発光素子。

10

#### 【請求項4】

導電性を有する半導体基板と、

前記半導体基板の一方の主面上に形成された導電性を有する反射領域と、

前記反射領域の上に形成されており且つ窒化ガリウム系化合物から成る第1の導電形の第1の半導体領域と、

前記第1の半導体領域の上に形成されており且つ窒化ガリウム系化合物から成り且つ前記第1の導電形と反対の第2の導電形を有している第2の半導体領域と、

前記第2の半導体領域の表面上の一部に形成された第1の電極と、

前記半導体基板の他方の主面に形成された第2の電極とを備え、

前記反射領域は、反射ピークが生じる波長が互いに異なり且つ互いに積層された少なくとも第1及び第2の反射領域を有し、

20

前記第1及び第2の反射領域のそれぞれは、相対的に低い屈折率を有する低屈折率領域と、前記低屈折率領域の屈折率よりも大きい屈折率を有する高屈折率領域とが交互に積層されたものから成り、

前記低屈折率領域はバリア層と井戸層とが交互に積層されたものから成り、

前記高屈折率領域は井戸層とバリア層とが交互に積層されたものから成り、

前記高屈折率領域の井戸層は $In$  (インジウム)を含む窒化物から成り、

前記低屈折率領域のバリア層及び井戸層、及び前記高屈折率領域のバリア層は $In$ を含まないか又は前記高屈折率領域の井戸層の $In$ の含有率よりも低い含有率で $In$ を含む窒化物から成ることを特徴とする半導体発光素子。

30

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体発光素子に関する。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

$GaN$ 、 $GaAlN$ 、 $InGaN$ 、 $InGaAlN$ 等の窒化ガリウム系化合物半導体から成る発光層を備えた青色系発光素子 (青色発光ダイオード) は公知である。この種の発光素子は、サファイアから成る絶縁性基板の上に窒化ガリウム系化合物半導体層を形成し、一対の電極を素子の上面に配置した構造、又はシリコンカーバイドから成る低抵抗性基板の上に窒化ガリウム系化合物半導体層を形成し、一対の電極を素子の上面と下面に配置した構造となっている。

40

#### 【0003】

#### 【発明が解決しようとする課題】

ところで、上述の発光素子は周知のように多数の素子の作り込まれたウエハをダイシング、スクライピング、ヘキ開等によって切り出して製作される。この時、サファイア等から成る基板は硬度が高いため、このダイシングを良好に且つ生産性よく行うことが困難であった。また、サファイア等はそれ自身高価であり、材料コストの面でも不利である。

#### 【0004】

そこで、本願出願人は、サファイアやシリコンカーバイドから成る基板の代わりに、シリ

50

コンから成る低抵抗基板を使用した半導体発光素子を試作した。硬度がサファイアのように高くないシリコン等によって基板を構成すれば、ダイシング工程などを良好に且つ生産性よく行うことが可能であり、また一対の電極を半導体基体の上面と下面に対向して配置すれば、電流通路を半導体基体の厚み方向に形成することができ、電流通路の抵抗値を下げて消費電力及び動作電圧の低減化も期待された。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、シリコン等から成る基板は、窒化ガリウム系化合物半導体から成る発光層から放出された波長365～620nmの光に対して吸収層として機能する。このため、サファイア又はシリコンカーバイドから成る基板を用いた発光素子に比べて発光層からの光を効率よく外部に放出し難いことが分かった。即ち、サファイア又はシリコンカーバイドから成る基板を用いた発光素子によれば、基板が発光層から放出される光を吸収しないため、基板内を透過した光を基板下面で反射させることによって光を比較的良好に素子外部に取り出すことができる。一方、シリコン等から成る基板は発光層から放出された光を吸収してしまうため、発光層から下側に導出された光についての損失が大きく、発光効率（外部量子効率）を高めることが困難であった。

10

【0006】

そこで、本発明の目的は、シリコン等から成る低抵抗性基板を用いた半導体発光素子において、外部量子効率即ち発光効率を高めた発光素子を提供することにある。

【0007】

20

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決し、上記目的を達成するための本発明は、導電性を有する半導体基板と、前記半導体基板の一方の主面上に形成された導電性を有する反射領域と、前記反射領域の上に形成されており且つ窒化ガリウム系化合物から成る第1の導電形の第1の半導体領域と、前記第1の半導体領域の上に形成されており且つ窒化ガリウム系化合物から成り且つ前記第1の導電形と反対の第2の導電形を有している第2の半導体領域と、前記第2の半導体領域の表面上の一部に形成された第1の電極と、前記半導体基板の他方の主面に形成された第2の電極とを備え、前記反射領域は、相対的に低い屈折率を有する低屈折率領域と、前記低屈折率領域の屈折率よりも大きい屈折率を有する高屈折率領域とが交互に積層されたものから成り、前記低屈折率領域はバリア層と井戸層とが交互に積層されたものから成り、前記高屈折率領域は井戸層とバリア層とが交互に積層されたものから成り、前記高屈折率領域の井戸層はIn（インジウム）を含む窒化物から成り、前記低屈折率領域のバリア層及び井戸層、及び前記高屈折率領域のバリア層はInを含まないか又は前記高屈折率領域の井戸層のInの含有率よりも低い含有率でInを含む窒化物から成ることを特徴とする半導体発光素子に係わるものである。

30

【0008】

なお、請求項2に示すように、低屈折率領域の井戸層は、 $Al_zGa_{1-z}N$ （但し、 $z$ は $0 < z < 0.5$ を満足する数値）から成り、低屈折率領域のバリア層は、 $Al_wGa_{1-w}N$ （但し、 $w$ は $w > z$ を満足する数値）から成り、高屈折率領域の井戸層は、 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ （但し、 $x$ 及び $y$ は $0 < x < 0.5$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ を満足する数値）から成り、高屈折率領域のバリア層は、 $Al_tGa_{1-t}N$ （但し、 $t$ は $0 < t < 1$ 及び $0 < 1 - t < 1$ を満足する数値）から成ることが望ましい。

40

また、請求項3に示すように、第1の半導体領域と前記第2の半導体領域との間に活性層が介在していることが望ましい。

また、請求項4に示すように、前記反射領域を、反射ピークが生じる波長が互いに異なり且つ互いに積層された少なくとも第1及び第2の反射領域とすることができ。

また、低屈折率領域のバリア層及び高屈折率領域のバリア層の厚みは5～100オングストローム、低屈折率領域の井戸層及び高屈折率領域の井戸層の厚みは5～200オングストロームとすることが望ましい。

【0009】

50

**【発明の効果】**

本願各請求項の発明は次の効果を有する。

(1) 半導体基板の上に、異なる実効屈折率を有する低屈折率領域と高屈折率領域とからなる反射領域が形成されているので、発光領域から基板側に放出された光は、反射領域によって基板の上側に反射される。この結果、発光素子の発光効率を増大することができる。

(2) 反射領域にInを含めたので、反射領域がバッファ層として良好に機能し、発光特性が良好に得られる。即ち、発光特性が良好に得られる第1の理由は、半導体基板の一方の主面に形成されたInを含む反射領域が半導体基板の結晶方位を良好に引き継ぐことができ、この反射領域の主面に半導体領域を良好に形成することができることにある。10  
発光特性が良好に得られる第2の理由は、半導体基板とGaN系半導体領域との間にInを含む井戸層とバリア層を有する高屈折率層を介在させることによって、反射領域の応力に基づく歪みが発生することを良好に防止できること、及び反射領域の上面に形成されるGaN系半導体領域にクラックが生じることを防止できることにある。

(3) 消費電力及び動作抵抗を低減することができる。即ち、基板が導電性を有する半導体基板であるので、電流通路を半導体領域の厚み方向に形成することができ、サファイア等から成る絶縁性基板を使用した従来の発光ダイオードに比べて電流通路の抵抗値を下げて消費電力及び動作電圧の低減化を図ることができる。

**【0010】****【実施形態及び実施例】**

次に、図1～図7を参照して本発明の実施形態及び実施例に係わる半導体発光素子としての窒化ガリウム系化合物青色発光ダイオードを説明する。

**【0011】****【第1の実施例】**

図1及び図2に示す本発明の第1の実施例に従う青色発光ダイオードは、シリコン基板から成る低抵抗性半導体基板（以下、低抵抗性基板という）11、反射領域としての分布ブラッグ反射膜即ち超格子DBR（Distributed Bragg Reflectors）層12、GaN（窒化ガリウム）から成る第1の半導体領域としてのn形半導体領域13、p形のInGaN（窒化ガリウムインジウム）から成る活性層14、及び第2の半導体領域としてのGaN（窒化ガリウム）から成るp形半導体領域15を順次に積層した構成の板状基体16と、30  
この基体16の一方の主面（上面）即ちp形半導体領域15に電氣的に接続されたアノード電極17と、この基体16の他方の主面（下面）即ち低抵抗性基板11の下面に電氣的に接続されたカソード電極18とを備えている。なお、超格子DBR層12、n形半導体領域13、活性層14、及びp形半導体領域15は低抵抗性基板11の上に順次にそれぞれの結晶方位を揃えて成長させたものである。

**【0012】**

低抵抗性基板11は、n形導電形不純物として例えばAs（砒素）が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度の高濃度で導入され且つ（111）面を有するn<sup>+</sup>形のシリコン単結晶基板から成り、その抵抗率は $0.0001 \sim 0.01 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ 程度であって、実質的に導電体と呼ぶことができるものである。従って、この低抵抗性基板11はカソード電極18と共に発光ダイオードのカソード電極として機能する。なお、本実施例では、p形半導体領域15、活性層14及びn形半導体領域13から成る発光部の支持体として機能するように低抵抗性基板11の厚みを約350  $\mu\text{m}$ に設定した。40

**【0013】**

低抵抗性基板11の一方の主面全体を被覆するように形成された導電性を有する反射領域としての超格子DBR層12は、低屈折率領域としての低屈折率層12aと高屈折率領域としての高屈折率層12bとが交互に積層されたものである。即ち、図1では図示の都合上低屈折率層12aと高屈折率層12bとがそれぞれ2層のみ示されているが、実際の超格子DBR層12は低屈折率層12aと高屈折率層12bとをそれぞれ10層有し、これ等が交互に積層され、合計で20層に形成されている。50

低屈折率層 12a と高屈折率層 12b の厚みは、活性層から放出される光の波長等によって決定される。本実施例では波長 450 nm 付近に発光波長ピークを有する GaN 系化合物半導体発光素子が使用されているため、超格子 DBR 層 12 は 450 nm の波長の光に対して最大反射率（反射ピーク）を有するように形成されている。ここで、低屈折率層 12a と高屈折率層 12b の厚みは、 $\lambda / 4 \times 1 / n$ （ $\lambda$  は発光波長、 $n$  は屈折率）により求めることができる。従って、低屈折率層 12a と高屈折率層 12b を構成する後述の量子井戸層とバリア層の厚みを等しくした場合には、低屈折率層 12a を Al と GaN の超格子で構成すると、その実効屈折率は 2.41 となり、その層厚は約 464 オングストロームとなる。一方、高屈折率層 12b は InN と GaN の超格子で構成すると、その実効屈折率は 2.8 となり、その層厚は約 400 オングストロームとなる。以上より、本実施例の超格子 DBR 層 12 の厚みは、合計で約 8500 オングストロームである。

10

#### 【0014】

低屈折率層 12a は、図 3 に示すように複数の障壁層即ちバリア層 21 と複数の量子井戸層 22 とを交互に積層したものから成る。バリア層 21 は、 $Al_wGa_{1-w}N$ （但し、 $w$  は  $z < w$  を満足する数値、 $z$  は  $0 \leq z \leq 0.5$  を満足する数値）において  $w = 1$  にしたものに相当する AlN から成る絶縁性の極薄の膜であり、量子井戸層 22 は  $Al_zGa_{1-z}N$ （ $0 \leq z \leq 0.5$ ）において  $z = 0$  にしたもものに相当する GaN から成る n 形半導体領域の極薄の膜である。量子井戸層 22 の厚みは、量子井戸準位ができるように 5 ~ 200 オングストロームとするのが望ましく、本実施例では 58 オングストロームとされている。また、バリア層 21 の厚みは量子力学的なトンネル効果を得ることができるよう 100 オングストローム以下とするのが望ましく、本実施例では量子井戸層と同じ厚みの 58 オングストロームとされている。AlN から成るバリア層 21 と GaN から成る量子井戸層 22 をそれぞれ 4 層有し、合計で 8 層に形成された低屈折率層 12a の厚みは 464 オングストロームである。なお、井戸層 22 は、基板 11 と同一の導電形にすることが望ましく、n 形不純物として Si がド - ピングされている。もし、基板 11 が p 形の場合には井戸層 22 に p 形不純物として Mg をド - ピングする。

20

#### 【0015】

高屈折率層 12b は、図 4 に示すように複数の量子井戸層 23 と複数のバリア層 24 とを交互に積層したものから成る。量子井戸層 23 は  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ （ $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x + y < 1$ 、 $0 \leq x \leq 0.5$ ）において、 $x = y = 0$  にしたものに相当する InN から成る極薄の n 形半導体領域から成る。バリア層 24 は、 $Al_tGa_{1-t}N$ （ $0 \leq t < 1$ ）において、 $t = 0$  に相当する GaN から成る絶縁性の極薄の膜である。量子井戸層 23 は、量子井戸準位が形成できるように 5 ~ 200 オングストロームにすることが望ましく、本実施例では 50 オングストロームとされている。また、バリア層 24 の厚みは量子力学的なトンネル効果が得られるように、5 ~ 100 オングストロームの範囲にすることが望ましく、本実施例では量子井戸層と同じ 50 オングストロームとされている。InN から成る量子井戸層 23 と GaN から成るバリア層 24 をそれぞれ 4 層有し、合計で 8 層に形成された高屈折率層 12b の厚みは 400 オングストロームである。なお、井戸層 23 は、基板 11 と同一の導電形にすることが望ましく、n 形不純物として Si がド - ピングされている。もし、基板 11 が p 形の場合には井戸層 23 に p 形不純物として Mg をド - ピングする。

30

40

#### 【0016】

低屈折率層 12a と高屈折率層 12b は周知の MOCVD（有機金属化学気相成長方法）によってそれぞれ AlN 層及び GaN 層と、InN 層及び GaN 層を順次連続して積層形成したものである。即ち、シリコン単結晶の低抵抗性基板 11 を MOCVD 装置の反応室内に配置し、まず 1120 で 10 分間のサーマルクリーニングを施して表面の酸化膜を除去する。

#### 【0017】

次に、反応室内に 66 cc（63  $\mu$ mol / 分）の TMA（トリメチルアルミニウム）ガスと 3 リットル（0.14 mol / 分）の  $NH_3$ （アンモニア）ガスを約 31 秒間かけて供給

50

して、厚さ約58オングストロームのAlNから成るバリア層21を形成する。次に、TMAガスの供給をストップして、反応室内に20cc(63 $\mu$ mol/分)のTMG(トリメチルガリウム)ガスと200cc(21nmol/分)のシラン(SiH<sub>4</sub>)を約17秒間かけて供給して厚さ約58オングストロームのGaNから成る量子井戸層23を形成する。ここで、シランガスは形成膜中にn形不純物としてのSiを導入するためのものである。これを4回繰り返して、層厚の合計が464オングストロームの低屈折率層12aを得る。

#### 【0018】

続いて、低屈折率層12aを有する基板11の温度を700℃まで下げた後、反応室内に150cc(59 $\mu$ mol/分)のTMI(トリメチルインジウム)ガスと5リットル(0.23mol/分)のNH<sub>3</sub>(アンモニア)ガスと200cc(21nmol/分)のシラン(SiH<sub>4</sub>)を約195秒間かけて供給して、厚さ約50オングストロームのInNから成る量子井戸層23を低屈折率層12aの上に形成する。次に、TMIガスの供給をストップして、反応室内に2.1cc(6.2 $\mu$ mol/分)のTMG(トリメチルガリウム)ガスと5リットル(0.23mol/分)のNH<sub>3</sub>(アンモニア)ガスを約155秒間かけて供給して厚さ約50オングストロームのGaNから成るバリア層24を形成する。これを4回繰り返して、層厚の合計が400オングストロームの高屈折率層12bを得る。

#### 【0019】

低屈折率層12aと高屈折率層12bとの形成を同一の方法で交互に10回繰り返して合計20層の超格子DBR層12を得る。

#### 【0020】

超格子DBR層12の上面に設けられたn形半導体領域13、活性層14及びp形半導体領域15は周知のMOCVD法によって順次連続して形成したものである。即ち、上面に超格子DBR層12が形成された低抵抗性基板11をMOCVD装置の反応室内に配置して、反応室内にまずトリメチルガリウムガス即ちTMGガス、NH<sub>3</sub>(アンモニア)ガス、SiH<sub>4</sub>(シラン)ガスを供給してバッファ層12の上面にn形半導体領域13を形成する。ここで、シランガスは形成膜中にn形不純物としてのSiを導入するためのものである。本実施例では超格子DBR層12が形成された低抵抗性基板11の加熱温度を1040℃とした後、TMGガスの流量即ちGaの供給量を約4.3 $\mu$ mol/分、NH<sub>3</sub>ガスの流量即ちNH<sub>3</sub>の供給量を約53.6mmol/分、シランガスの流量即ちSiの供給量を約1.5nmol/分とした。また、本実施例では、n形半導体領域13の厚みを約2 $\mu$ mとした。また、n形半導体領域13の不純物濃度は約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、低抵抗性基板11の不純物濃度よりは十分に低い。なお、本実施例によればバッファ層として機能する超格子DBR層12が介在することにより、比較的高温でn形半導体層13を超格子DBR層12の上面に直接に形成することが可能になる。

#### 【0021】

続いて、低抵抗性基板11の加熱温度を800℃とし、反応室内にTMGガス、アンモニアガスに加えてトリメチルインジウムガス(以下、TMIガスという)とビスシクロペンタジェニルマグネシウムガス(以下、Cp2Mgガスという)を供給してn形半導体領域13の上面にp形InGaNから成る活性層14を形成する。ここで、Cp2Mgガスは形成膜中にp形導電形の不純物としてのMgを導入するためのものである。本実施例では、TMGガスの流量を約1.1 $\mu$ mol/分、NH<sub>3</sub>ガスの流量を約67mmol/分、TMIガスの流量即ちInの供給量を約45 $\mu$ mol/分、Cp2Mgガスの流量即ちMgの供給量を約12nmol/分とした。また、活性層14の厚みは約20オングストローム、活性層14の不純物濃度は約 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

#### 【0022】

続いて、低抵抗性基板11の加熱温度を1040℃とし、反応室内にTMGガス、アンモニアガス及びCp2Mgガスを供給して活性層14の上面にp形GaNから成るp形半導体領域15を形成する。本実施例では、この時のTMGガスの流量を約4.3 $\mu$ mol/分、アンモニアガスの流量を約53.6 $\mu$ mol/分、Cp2Mgガスの流量を約0.12 $\mu$

10

20

30

40

50

mol / 分とした。また、p 形半導体領域 15 の厚みは約  $0.5 \mu\text{m}$ 、p 形半導体領域 15 の不純物濃度は約  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である。

【0023】

上記の MOCVD 成長方法によれば、バッファ層としての機能及び光反射層としての機能を有する超格子 DBR 層 12 の上面に、この超格子 DBR 層 12 の結晶方位に揃えて n 形半導体領域 13、活性層 14 及び p 形半導体領域 15 を形成することができる。即ち、単結晶シリコン基板から成る低抵抗性基板 11 の結晶方位を良好に引き継いでいる超格子 DBR 層 12 の上にこれを核として n 形半導体領域 13、活性層 14 及び p 形半導体領域 15 が順次に良好にエピタキシャル成長される。

【0024】

第 1 の電極としてのアノード電極 17 は、例えばニッケルと金を周知の真空蒸着法等によって半導体基体 16 の上面に付着させることによって形成し、p 形半導体領域 15 の表面に低抵抗接触させる。このアノード電極 17 は図 2 に示すように円形の平面形状を有しており、半導体基体 16 の上面のほぼ中央に配置されている。半導体基体 16 の上面のうち、アノード電極 17 の形成されていない領域 19 は、光取り出し領域として機能する。

【0025】

第 2 の電極としてのカソード電極 18 は、半導体基体 16 の上面に形成せずに、例えばチタンとアルミニウムを周知の真空蒸着法等によって基板 11 の下面に形成し、低抵抗性基板 11 の下面全体に低抵抗接触させる。

【0026】

図 1 の青色発光ダイオードを外部装置に取付ける時には、例えばカソード電極 18 を回路基板等の外部電極に対して半田又は導電性接着剤で固着し、アノード電極 17 を周知のワイヤボンディング方法によって外部電極に対してワイヤで電氣的に接続する。

【0027】

本実施例の青色発光ダイオードによれば、次の効果が得られる。

(1) サファイアやシリコンカーバイドに比べて著しく低コストであり加工性も良いシリコンから成る基板 11 を使用することができるので、材料コスト及び生産コストの削減が可能である。このため、従来では他の発光素子に比べて高価であった GaN 系発光ダイオードのコスト削減が可能となる。

(2) シリコンから成る基板 11 に発光素子が形成できるため、基板 11 内に他の電子素子を形成することができ、GaN 系半導体発光素子がその他の半導体素子と同一の半導体基板内に集積された半導体集積回路を容易に実現できる。

(3) 光吸収性を有するシリコンから成る低抵抗性基板 11 の上に、異なる実効屈折率を有する超格子層 (AlN / GaN) から成る低屈折率層 12a と超格子層 (InN / GaN) から成る高屈折率層 12b とを一組とする分布ブラッグ反射膜 (超格子 DBR 膜) の複数から成る超格子 DBR 層 12 が形成されている。従って、発光層即ち活性層 14 から基体 16 の下面側に放出された光は、超格子 DBR 層 12 によって基体 16 の上面側に反射される。この結果、発光素子の外部量子効率即ち発光効率を増大することができる。

(4) 超格子 DBR 層 12 がバッファ層として良好に機能するため、発光特性が良好に得られる。即ち、発光特性が良好に得られる第 1 の理由は、低抵抗性基板 11 の一方の主面に形成された AlN 層 21 及び GaN 層 22 から成る低屈折率層 12a と InN 層 23 及び GaN 層 24 から成る高屈折率層 12b から構成される超格子 DBR 層 12 が、シリコンから成る低抵抗性基板 11 の結晶方位を良好に引き継ぐことができ、この DBR 層 12 を核としてその一方の主面に n 形半導体領域 13、活性層 14 及び p 形半導体領域 15 を順次、結晶性を良好にして積層形成することができることにある。

発光特性が良好に得られる第 2 の理由は、低抵抗性基板 11 と GaN 系半導体領域との間に InN 層 21 及び GaN 層 24 が複数積層されて成る高屈折率層 12b を介在させることによって、超格子 DBR 層 12 の応力に基づく歪みが発生することを良好に防止できること、及び超格子 DBR 層 12 の上面に形成される GaN 系半導体領域にクラックが生

10

20

30

40

50

じることを防止できることにある。即ち、低抵抗性基板 11 と GaN 系半導体領域との間に例えば  $Al_xGa_{1-x}N$  (但し、 $x$  は  $0 < x < 1$  を満足する数値) 層及び GaN 層が複数積層されて成るバッファ層を介在させた場合には、このバッファ層の歪みを緩和するためにその上に形成される GaN 系半導体領域にクラックが生じ易い。これに対し、本発明に従って低抵抗性基板 11 と GaN 系半導体領域との間に  $Al_xGa_{1-x}$  層及び  $In_yGa_{1-y}N$  層を含む超格子 DBR 層 12 を介在させた場合には、GaN 系半導体領域にクラックをほとんど生じさせることなく、超格子 DBR 層 12 の応力緩和、歪み緩和が可能である。この理由は必ずしも明らかではないが、 $In_yGa_{1-y}N$  のある結晶面がスリップ等により超格子 DBR 層 12 に内在した歪みを開放、緩和しているためと考えられる。

【0028】

10

【第 2 の実施例】

次に、図 5 及び図 6 を参照して第 2 の実施例の窒化カリウム系化合物青色発光ダイオードを証明する。但し、図 5 及び図 6 において、図 1 ~ 図 4 と実質的に同一の部分には同一の符号を付けてその証明を省略する。

【0029】

図 5 の発光ダイオードは、図 1 の反射領域としての DBR 層 12 を変形した反射領域としての DBR 層 12' を設けた他は図 1 と同一に構成したものである。図 5 で概略的に示されている反射領域としての DBR 層 12' は、反射ピークが互いに異なる第 1 及び第 2 の反射領域 41, 42 を有する。

第 1 及び第 2 の反射領域 41, 42 は基板 11 と n 形半導体領域 13 との間に互いに積層状態に配置されている。

20

【0030】

第 1 の反射領域 41 は、第 1 の波長として 450 nm に反射ピークを有するものであって、10 個の低屈折率領域 41a と 10 個の高屈折率領域 41b とを交互に積層状態に配置したものから成る。

第 2 の反射領域 42 は第 2 の波長として 470 nm に波長ピークを有するものであって、10 個の低屈折率領域 42a と 10 個の高屈折率領域 42b とを交互に積層状態に配置したものから成る。

【0031】

第 1 の反射領域 41 の低屈折率領域 41a は、図 6 (B) に示すように 58 オングストロームの厚さを有する AI から 4 個のバリア層 51 と、58 オングストロームの厚さを有する GaN から成る 4 個の井戸層 52 とを交互に積層状態に配置したものから成り、第 1 の実施例における図 3 の低屈折率層 12a と同一に構成されている。第 1 の反射領域 41 の高屈折率領域 41b は、図 6 (A) に示すように 50 オングストロームの厚さを有する InN から成る 4 個の井戸層 53 と、50 オングストロームの厚さを有する GaN から成る 4 個のバリア層 54 とを交互に積層状態に配置したものから成り、図 4 の高屈折率層 12b と同一に構成されている。

30

第 1 の反射領域 41 の 1 つの低屈折率領域 41a の厚みは 464 オングストロームであり、1 つの高屈折率領域 41b の厚みは 400 オングストロームである。

【0032】

40

第 2 の反射領域 42 の低屈折率領域 42a は、図 6 (D) に示すように 61 オングストロームの厚さを有する AlN から 4 個のバリア層 61 と、61 オングストロームの厚さを有する GaN から成る 4 個の井戸層 62 とを交互に積層状態に配置したものから成る。第 2 の反射領域 42 の高屈折率領域 42b は、図 6 (C) に示すように 52 オングストロームの厚さを有する InN から成る 4 個の井戸層 63 と、52 オングストロームの厚さを有する GaN から成る 4 個のバリア層 64 とを交互に積層状態に配置したものから成る。

第 2 の反射領域 42 の 1 つの低屈折率領域 42a の厚みは 488 オングストロームであり、1 つの高屈折率領域 42b の厚みは、416 オングストロームである。

【0033】

図 6 の低屈折率層 41a, 42a のバリア層 51, 61 は第 1 の実施例のこれと同様に A

50



$I_w Ga_{1-w}N$  (但し、 $w$ は $w > z$ を満足する数値)で形成することができ、またこの井戸層 5 2, 6 2 は、第 1 の実施例のこれと同様に  $Al_z Ga_{1-z}N$  (但し、 $z$ は $0 < z < 0.5$ を満足する数値)で形成することができる。また、図 6 の高屈折率層 4 1 b, 4 2 b の井戸層 5 3, 6 3 は第 1 の実施例のこれと同様に  $Al_x Ga_y In_{1-x-y}N$  (但し、 $x, y$ は $0 < x < 0.5$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ を満足する数値)で形成することができ、バリア層 5 4, 6 4 は第 1 の実施例のこれと同様に  $Al_t Ga_{1-t}N$  (但し、 $t$ は $0 < t < 1$ 及び $0 < 1 - t < 1$ を満足する数値)で形成することができる。

#### 【0034】

第 2 の実施例のように反射ピークが接近している第 1 及び第 2 の反射領域 4 1, 4 2 を設けると、外部に取り出す光の発光波長に広がりを持たせることができる。なお、第 2 の実施例の第 1 及び第 2 の反射領域 4 1, 4 2 は第 1 の実施例の反射領域 1 2 と同一物質で形成されているので、第 1 の実施例と同一の作用効果も得ることができる。

#### 【0035】

#### 【変形例】

本発明は上述の実施例に限定されるものでなく、例えば次の変形が可能なものである。

(1) 第 1 の実施例では低屈折率層 1 2 a と高屈折率層 1 2 b とがそれぞれ 10 層ずつ合計 20 層形成されてなる超格子 DBR 層 1 2 を示したが、低屈折率層 1 2 a と高屈折率層 1 2 b とをそれ以上のペア、又はそれ以下のペアで交互に積層しても良い。但し、良好な反射機能と平坦性の良い窒化ガリウム系化合物半導体を形成するためのバッファ機能を良好に得るために 3 ペア以上、望ましくは 5 ペア以上設けることが良い。また多数に積層しても DBR 層の反射効率が飽和するので、生産性などの観点から 150 ペア以下とすることが望ましい。

(2) 実施例では、低屈折率層 1 2 a 及び低屈折率層 4 1 a、4 2 a のバリア層 2 1、5 1, 6 1 は  $Al_w Ga_{1-w}N$  ( $z < w < 1$ ) において  $w = 1$  にしたものに相当する  $AlN$  層であるが、 $w$ は $z < w < 1$ を満足する任意の値に設定できる。なお、 $w < z$ を満足するように設定する理由は  $Al_z Ga_{1-z}N$  を井戸層として機能させる為に、 $Al_z Ga_{1-z}N$  のエネルギーレベルを  $Al_w Ga_{1-w}N$  のエネルギーレベルよりも低く設定する必要があるからである。また、実施例では、低屈折率層 1 2 a 及び低屈折率領域 4 1 a、4 2 a の量子井戸層 2 2、5 2, 6 2 を  $Al_z Ga_{1-z}N$  ( $0 < z < 0.5$ ) の  $z = 0$  としたものに相当する  $GaN$  層としたが、 $z$ は $0 < z < 0.5$ を満足する任意の値に設定できる。なお、 $0 < z < 0.5$ を満足するように設定する理由は、 $Al$  の混晶率をあまり高めると導電性が低下して素子の動作電圧が増加するからである。

(3) 実施例では、高屈折率層 1 2 b 及び高屈折率領域 4 1 b、4 2 b のバッファ層 2 4、5 4, 6 4 を  $Al_t Ga_{1-t}N$  ( $0 < t < 1$ ) の  $t = 0$  に相当する  $GaN$  層としたが、 $t$ は上記条件を満足する任意の値に設定できる。また、実施例では、高屈折率層 1 2 b 及び高屈折率領域 4 1 b、4 2 b の量子井戸層 2 3、5 3, 6 3 を  $Al_x Ga_y In_{1-x-y}N$  ( $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ 、 $0 < x < 0.5$ ) において  $x = y = 0$  としたものに相当する  $InN$  によって形成したが、 $x, y$ は $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ 、 $0 < x < 0.5$ を満足する任意の値に設定できる。なお、 $Al_x Ga_y In_{1-x-y}N$  を井戸層として機能させる為に、 $Al_x Ga_y In_{1-x-y}N$  のエネルギーレベルを  $Al_t Ga_{1-t}N$  のエネルギーレベルよりも低く設定する必要がある。

(4) 高屈折率層 1 2 b 及び高屈折率領域 4 1 b、4 2 b のバリア層 2 4, 5 4, 6 4 も  $In$  を含有していても良い。ただし、それぞれが井戸層またはバリア層として良好に機能するように、井戸層 2 3, 5 3, 6 3 における  $In$  の含有率 (混晶比) をバリア層 2 4, 5 4, 6 4 における  $In$  の含有率 (混晶比) よりも大きくする。

(5) 低屈折率層 1 2 a 及び低屈折率領域 4 1 a, 4 2 a と高屈折率層 1 2 b 及び高屈折率領域 4 1 b、4 2 b の量子井戸層 2 2、2 3 5 2, 5 3, 6 2, 6 3 を構成する  $Al_z Ga_{1-z}N$  ( $0 < z < 0.5$ ) と  $Al_x Ga_y In_{1-x-y}N$  ( $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ 、 $0 < x < 0.5$ ) は、5 ~ 200 オングストロームの厚さに形成することが望ましい。即ち、5 オングストローム未満とするとその上面と下面に形成されるバリア層 2 2、2 4

10

20

30

40

50

、51, 54, 61, 64の間を電氣的に良好に接続することが困難となって超格子DBR層12及び反射領域12'の電氣的抵抗が増大するからであり、200オングストロームを越えると量子井戸準位を良好に形成することができなくなるためである。

(6) 低屈折率層12a及び領域41a、42aと高屈折率層12b及び領域41b、42bのバリア層21、22, 51, 54, 61, 64を構成する $Al_wGa_{1-w}N$  ( $w > z$ )と $Al_tGa_{1-t}N$  ( $0 < t < 1$ )は、5~100オングストロームの厚さに形成することが望ましい。即ち、100オングストロームを越えると、量子力学的なトンネル効果が生じ難くなりDBR層12及び反射領域12'の電氣的抵抗が増大し、5オングストローム未満であるとDBR層12及び反射領域12'の上に形成されるGaN系半導体領域の平坦化する効果が損なわれるからである。

10

(7) 超格子DBR層12の上に形成するGaN系半導体領域(第1の半導体領域13)は、超格子DBR層12の歪みを良好に緩和できるように500オングストローム以上にするのが望ましい。

(8) 基板11を単結晶シリコン以外の多結晶シリコンやGaAs、GaPから構成しても良い。

(9) 半導体基体16の各半導体領域の導電形を反対の導電形にすることもできる。

(10) 低屈折率層12a及び領域41a、42aのバリア層21, 51, 61, と井戸層22, 52, 62とのいずれか一方又は両方もInを含有していても良い。ただし、低屈折率層12a及び領域41a、42aの屈折率が高屈折率層12b及び領域41b, 42bの屈折率よりも低くなりDBR膜として良好に機能するように、低屈折率層12a及び領域41a、42a全体におけるInの含有率(混晶比)を高屈折率層12b及び領域41b, 42b全体におけるInの含有率(混晶比)よりも小さくする。

20

(11) アノード電極17とp型半導体領域15との間にp<sup>+</sup>形半導体領域等を介在させることができる。

(12) 図7に概略的に示すようにシリコンから成る基板11にトランジスタ、ダイオード等の半導体素子30を素子分離用P形領域31の中に形成し、半導体発光素子を集積回路の一部とし、発光素子を含む半導体装置の小型化及びコストの低減を図ることができる。なお、図7において図1と実質的に同一の部分には同一の符号が付されている。またEはエミッタ、Bはベース、Cはコレクタを示す。

【図面の簡単な説明】

30

【図1】本発明の第1の実施例の発光ダイオードを示す中央縦断面図である。

【図2】図1の発光ダイオードの斜視図である。

【図3】図1の低屈折率層を詳しく示す断面図である。

【図4】図2の高屈折率層を詳しく示す断面図である。

【図5】本発明の第2の実施例の発光ダイオードを示す中央縦断面図である。

【図6】図5の各部を詳しく示す断面図である。

【図7】変形例の半導体装置を示す断面図である。

【符号の説明】

11 シリコン単結晶から成る低抵抗性基板

12 超格子DBR層

40

12a 低屈折率層

12b 高屈折率層

13 n形半導体領域

14 活性層

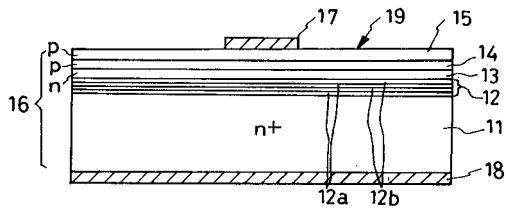
15 p形半導体領域

16 基体

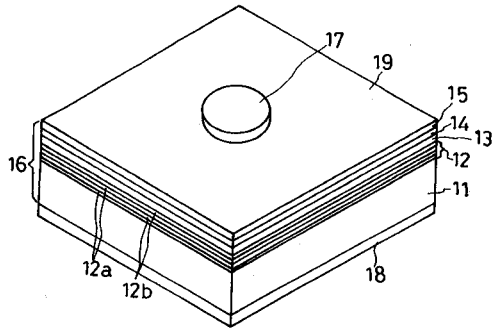
17 アノード電極

18 カソード電極

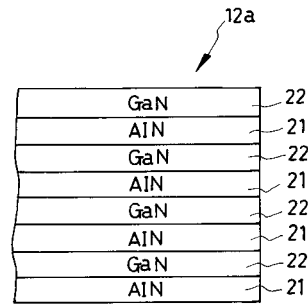
【図 1】



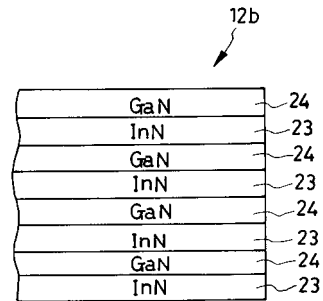
【図 2】



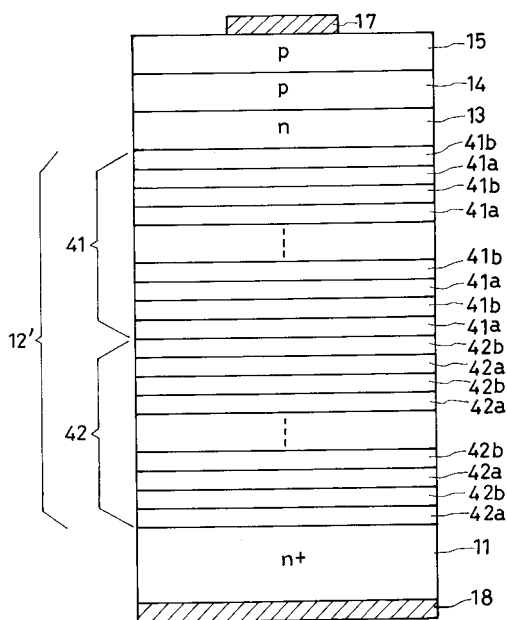
【図 3】



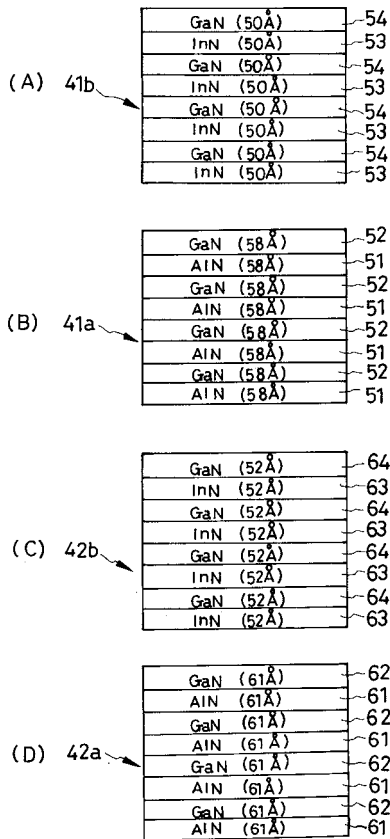
【図 4】



【図 5】



【図 6】



[illegible]

---

フロントページの続き

審査官 檀本 英吾

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 0 4 0 8 4 7 ( J P , A )  
特開平 0 1 - 0 3 2 6 9 0 ( J P , A )  
特開平 0 2 - 1 5 6 5 8 9 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 0 9 6 3 8 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 3 4 9 3 9 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 33/00

H01S 5/00-5/50