

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2780691号

(45)発行日 平成10年(1998) 7月30日

(24)登録日 平成10年(1998) 5月15日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

請求項の数12(全 11 頁)

(21)出願番号 特願平7-314339

(22)出願日 平成7年(1995)12月1日

(65)公開番号 特開平8-316528

(43)公開日 平成8年(1996)11月29日

審査請求日 平成7年(1995)12月1日

(31)優先権主張番号 特願平6-299446

(32)優先日 平6(1994)12月2日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平6-299447

(32)優先日 平6(1994)12月2日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平6-305258

(32)優先日 平6(1994)12月9日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(73)特許権者 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜

化学工業株式会社内

(72)発明者 岩佐 成人

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜

化学工業株式会社内

(72)発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜

化学工業株式会社内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

審査官 門田 かつよ

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 インジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりなり、第1および第2の面を有する活性層を備え、該活性層の第1の面に接して  $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ ) よりなるn型窒化物半導体層を備え、該活性層の第2の面に接して  $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ ) よりなるp型窒化物半導体層を備え、該活性層を量子井戸構造とし、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 活性層とn型窒化物半導体層との総膜厚が300オングストローム以上であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 p型窒化物半導体層上に、Ga Nよりなるp型コンタクト層を有することを特徴とする請求項1

2

または2記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 Ga Nよりなるn型窒化物半導体層およびGa Nよりなるp型コンタクト層を有し、該n型窒化物半導体層とp型コンタクト層との間にインジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、該p型コンタクト層側で該活性層に接して  $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ ) よりなるp型窒化物半導体層を備え、該活性層を量子井戸構造とし、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 インジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層を備え、第1および第2の面を有する活性層を具備し、該活性層の第2の面側にGa Nよりなるp型コンタクト層を備え、該活性層の第1の面に

10

3

接して該活性層を構成するインジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーの大きな  $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ ) よりなる  $n$  型窒化物半導体層を備え、該活性層と  $p$  型コンタクト層との間に該活性層の第 2 の面に接して  $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ ) よりなる  $p$  型窒化物半導体層を備え、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とし、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】  $In_x Ga_{1-x} N$  よりなる  $n$  型窒化物半導体層に接して  $Al_a Ga_{1-a} N$  ( $0 < a < 1$ ) よりなる第 2 の  $n$  型窒化物半導体層を備えることを特徴とする請求項 5 記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 7】 活性層が、ノンドープのものであることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 8】 活性層にドナー不純物および/またはアクセプター不純物がドーピングされていることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 9】 活性層が、厚さ 100 オングストローム以下の井戸層を有することを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 10】 活性層が、厚さ 70 オングストローム以下の井戸層を有することを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 11】 活性層が、 $In_z Ga_{1-z} N$  ( $0 < z < 1$ ) よりなる井戸層を有することを特徴とする請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 12】 活性層が、 $In_z Ga_{1-z} N$  ( $0 < x < 1$ ) よりなる井戸層と、 $In_{z'} Ga_{1-z'} N$  ( $0 < z' < 1$ 、ただし、 $z'$  は  $z$  と異なる) もしくは  $GaN$  よりなる障壁層との組み合わせからなる多重量子井戸構造を有することを特徴とする請求項 1 ないし 11 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】

【0001】

【発明の属する分野】本発明は、発光ダイオード (LED)、レーザダイオード (LD) 等の半導体発光素子に係り、特に、窒化物半導体 ( $In_a Al_b Ga_{1-a-b} N$ 、 $0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $a + b < 1$ ) から構成される半導体積層構造を有する窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体 ( $In_a Al_b Ga_{1-a-b} N$ 、 $0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $a + b < 1$ ) は、紫外ないし赤色に発光する LED、LD 等の発光素子の材料として期待されている。事実、本出願人は、この半導体材料を用いて、1993 年 11 月に光度 1 cd の青色 LED を発表

4

し、1994 年 4 月に光度 2 cd の青緑色 LED を発表し、1994 年 10 月には光度 2 cd の青色 LED を発表した。これらの LED は全て製品化されて、現在ディスプレイ、信号等の実用に供されている。

【0003】そのような青色、青緑色 LED の発光チップは、基本的には、サファイア基板の上に、 $n$  型  $GaN$  よりなる  $n$  型コンタクト層と、 $n$  型  $AlGaIn$  よりなる  $n$  型クラッド層と、 $n$  型  $InGaIn$  よりなる活性層と、 $p$  型  $AlGaIn$  よりなる  $p$  型クラッド層と、 $p$  型  $GaN$  よりなる  $p$  型コンタクト層とが順に積層された構造を有している。サファイア基板 11 と  $n$  型コンタクト層との間には、 $GaN$ 、 $AlGaIn$  または  $AlIn$  よりなるバッファ層が形成されている。活性層を形成する  $n$  型  $InGaIn$  には、 $Si$ 、 $Ge$  等のドナー不純物および/または  $Zn$ 、 $Mg$  等のアクセプター不純物がドーピングされている。この LED 素子の発光波長は、その活性層の  $InGaIn$  の  $In$  含有量を変えるか、または活性層にドーピングする不純物の種類を変えることにより、紫外領域から赤色まで変化させることが可能である。

20 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記 LED 素子は発光波長が長くなるに従って、発光出力が大きく低下するという問題がある。図 4 は従来の LED 素子のピーク発光波長と発光出力の関係を示す図である。この LED では活性層の  $InGaIn$  に  $Zn$  と  $Si$  とをドーピングし、 $Zn$  の準位を介して発光させることにより発光波長を  $InGaIn$  のバンド間発光よりも発光エネルギーで約 0.5 eV 小さくして発光波長を長くしている。図 4 に示すように、従来の LED は、450 nm では 3 mW 付近の出力を示すのに対し、発光ピークが長波長に移行するに従ってその出力は大きく減少し、550 nm では出力が 0.1 mW 以下にまで低下している。例えば、450 nm 発光の LED における活性層は  $In_{0.05} Ga_{0.95} N$  であり、500 nm 発光の LED における活性層は  $In_{0.18} Ga_{0.82} N$  であり、550 nm 発光の LED における活性層は  $In_{0.25} Ga_{0.75} N$  であり、さらに各活性層には  $Zn$  がドーピングされている。このように、不純物がドーピングされた  $InGaIn$  活性層、より詳しくは、 $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ ) 活性層は、 $In$  含有量が増えると結晶性が悪くなり発光出力は大きく低下する。このため実際に使用できる  $In$  含有量すなわち  $x$  値はおよそ 0.15 以下でしか、高出力の LED ができないのが現状であるので、青色 LED しか高出力の実現されていない。しかも、 $Zn$  をドーピングして発光させているので半値幅が約 70 nm と広く、青色の色純度に劣る。

【0005】ところで、高出力の青色 LED が実用化された現在、緑色 LED だけが色調、発光出力とも他の LED に比べて劣っている。例えばフルカラー LED ディスプレイを赤色 LED、緑色 LED、青色 LED 各一個

づつで実現する際には、緑色LEDが最も大きい光度を有していなければならない。しかし、緑色LEDの光度は未だ低く、青色LED、赤色LEDと全くバランスがとれないのが実状である。

【0006】窒化物半導体はバンドギャップエネルギーが1.95 eV～6.0 eVまでであるので、理論的には赤色から紫外まで広帯域に発光する材料である。窒化物半導体発光素子の長波長域の出力を向上させることができれば、従来のGaAs、AlInGaP系の材料に代わり、窒化物半導体で全ての可視領域の波長での発光が実現できる可能性がある。

【0007】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、緑色LEDのみならず360 nm以上の発光波長で高輝度、高出力の窒化物半導体発光素子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】従来のLEDは、活性層を不純物をドーブしたInGaInにより形成している。前記のようにInGaInのIn組成比を大きくするとInGaInバンド間発光により、発光波長を長波長側に移行できる。しかし、窒化物半導体はInのモル比を大きくするに従い結晶性が悪くなる傾向にあるので、発光出力が低下する、と推察される。そこで、本発明者らは発光素子の発光波長を長波長側に移行させるに際し、ダブルヘテロ構造の窒化物半導体構造における活性層に引っ張り応力を与えることにより、発光波長を長波長側にシフトさせ、しかも発光出力が高い発光素子を実現できることを新たに見出した。

【0009】すなわち、本発明によれば、インジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりなり、第1および第2の面を有する活性層を備え、該活性層の第1の面に接して $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ )よりなるn型窒化物半導体層を備え、該活性層の第2の面に接して $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ )よりなるp型窒化物半導体層を備え、該活性層を量子井戸構造とし、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光することを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0010】また、本発明によれば、GaInよりなるn型窒化物半導体層およびGaInよりなるp型コンタクト層を有し、該n型窒化物半導体層とp型コンタクト層との間にインジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、該p型コンタクト層側で該活性層に接して $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ )よりなるp型窒化物半導体層を備え、該活性層を量子井戸構造とし、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光することを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0011】さらに、本発明によれば、インジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層を備え、

第1および第2の面を有する活性層を具備し、該活性層の第2の面側にGaInよりなるp型コンタクト層を備え、該活性層の第1の面に接して該活性層を構成するインジウムおよびガリウムを含む窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーの大きな $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ )よりなるn型窒化物半導体層を備え、該活性層とp型コンタクト層との間に該活性層の第2の面に接して $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ )よりなるp型窒化物半導体層を備え、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とし、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光することを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0012】すなわち、本発明においては、活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造として、この活性層とクラッド層との界面平行方向に、引っ張り応力を加え、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも小さいエネルギーを持つ光を発光させるのである。

【0013】ところで、InNのバンドギャップエネルギー(1.96 eV)を $E_{g1}$ で、GaInのバンドギャップエネルギー(3.40 eV)を $E_{g2}$ で表わすと、窒化物半導体 $In_x Ga_{1-x} N$ の本来のバンドギャップエネルギー $E_g$ は、式

$$E_g = E_{g1} \cdot x + E_{g2} \cdot (1 - x) \quad (1)$$

により算出することができる。活性層の本来の発光波長は、 $\lambda = 1240 / E_g$ に相当する。

【0014】なお、単一量子井戸構造とは、井戸層が一層よりなる構造を指す。すなわち、単一量子井戸構造の活性層は、単一の井戸層だけで構成される。また、多重量子井戸構造とは、井戸層と障壁層を交互に積層した多層膜構造を指す。この多層膜構造において、両側の2つ最外層は、それぞれ井戸層により構成される。

【0015】

【作用】本発明の素子は、第1のn型クラッド層および第1のp型クラッド層よりも熱膨張係数の大きい活性層を形成して、両クラッド層と活性層の界面に平行な方向で引っ張り応力を発生させている。引っ張り応力を活性層に弾性的に作用させるために、活性層を単一量子井戸構造またはは多重量子井戸構造として、活性層のバンドギャップエネルギーを小さくし、活性層の発光波長を長くする。また、活性層の井戸層、障壁層を臨界膜厚まで薄くしたことにより、In組成比が大きいInGaInでも結晶性よく成長できる。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の一態様による窒化物半導体発光素子の構造の一例を示す概略断面図である。図1に示す窒化物半導体素子は、基板1上に、パッド層2、n型コンタクト層3、第2のn型クラッド層

4、第1のn型クラッド層5、活性層6、第1のp型クラッド層7、第2のp型クラッド層8、およびp型コンタクト層9が順に積層された構造を有する。

【0017】活性層6は、Inを含む窒化物半導体で形成され、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造のものである。Inを含む活性層6は、他のAlGa<sub>a</sub>N、Ga<sub>a</sub>N等の窒化物半導体に比べて柔らかく、熱膨張係数も大きいので、例えば単一量子井戸構造の井戸層の膜厚を薄くすることにより発光波長を変化させることができる。量子井戸構造の活性層6はn型、p型のいずれでもよいが、特にノンドープ（不純物無添加）とすることによりバンド間発光により発光波長の半値幅が狭くなり、色純度のよい発光が得られるため好ましい。特に活性層6の井戸層の組成をIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N（0 < z < 1）とすると、バンド間発光で波長を紫外から赤色まで発光させることができ、クラッド層との熱膨張係数差の大きい活性層を実現することが可能である。一方、多重量子井戸構造の場合、障壁層は特にInGa<sub>a</sub>Nで形成せずにGa<sub>a</sub>Nで形成してもよい。

【0018】第1のn型クラッド層5は、活性層6よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ活性層よりも熱膨張係数が小さい窒化物半導体であればどのような組成のもので形成してもよいが、特に好ましくはn型In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0 < x < 1）により形成する。InGa<sub>a</sub>N、またはGa<sub>a</sub>Nよりなるn型の第1のクラッド層5は、Alを含む窒化物半導体に比べて、結晶が柔らかいので、この第1のクラッド層5がバッファ層のような作用をする。つまりこの第1のクラッド層5がバッファ層として作用しているために、活性層6を量子井戸構造としても活性層6にクラックが入らず、また第1のクラッド層5、7の外側に形成される第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8中にクラックが入るのを防止することができる。

【0019】第1のp型クラッド層7は、活性層6を構成する窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ活性層6よりも熱膨張係数が小さいp型窒化物半導体であればどのような組成のもので形成してもよいが、好ましくはp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N（0 < y < 1）で形成する。その中でも、p型AlGa<sub>a</sub>N等のAlを含む窒化物半導体は、多重量子井戸構造または単一量子井戸構造よりなる活性層に接して形成することにより、発光出力を向上させる。

【0020】また、第1のn型クラッド層5、第1のp型クラッド層7のいずれかを省略することもできる。第1のn型クラッド層5を省略する場合は、第2のn型クラッド層4が第1のn型クラッド層5となり、また第1のp型クラッド層7を省略する場合は第2のp型クラッド層8が第1のp型クラッド層5となる。但し、活性層には、n型Ga<sub>a</sub>Nもしくはn型InGa<sub>a</sub>Nよりなる第1のn型クラッド層5が接して形成されていることが好まし

い。

【0021】本発明の素子は、前記第1のn型クラッド層5に接して、n型の窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層4を備えることができる。第2のn型クラッド層4は、Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N（0 < a < 1）で形成することが望ましい。但し、第1のn型クラッド層5がInGa<sub>a</sub>Nで形成されている場合は、この第2のn型クラッド層4をGa<sub>a</sub>NまたはAlGa<sub>a</sub>Nで形成することができる。Alを含む窒化物半導体は熱膨張係数が小さく、また結晶自体が硬いので、第2のn型クラッド層4を第1のn型クラッド層5に接して形成すると、活性層にさらに大きな引っ張り応力を加えて、発光波長を長波長側にシフトさせることが可能である。但し、活性層6に接してAlを含む第2のn型クラッド層4を形成する場合には、活性層の反対側の主面には、バッファ層となる第1のp型クラッド層7をInGa<sub>a</sub>N、Ga<sub>a</sub>N等で形成することが望ましい。

【0022】第2のn型クラッド層4は、n型Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N（0 < a < 1）により、50オングストロームないし1μmの膜厚で形成することが望ましい。第2のn型クラッド層をこの範囲内の膜厚で形成することにより、活性層6に好ましい引っ張り応力を与えることができる。また、Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>Nにおけるa値は0.6以下、さらに好ましくは0.4以下にすることが望ましい。なぜなら、前記のように第1のn型クラッド層5により、この第2のn型クラッド層4にはクラックが入りにくくなっているが、それでもAlGa<sub>a</sub>Nは結晶が硬く、a値が0.6より大きいとAlGa<sub>a</sub>N層にクラックが発生しやすいからである。また、一般にAlの混晶比（a値）が多くなるに従って、活性層6の発光波長が長波長となる傾向にある。

【0023】また、本発明の素子では、第1のp型クラッド層7に接して、p型の窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層8を備えることもできる。第2のp型クラッド層8は、Al<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N（0 < b < 1）で形成することが望ましい。但し、第1のp型クラッド層7がAlGa<sub>a</sub>Nで形成されている場合は、この第2のp型クラッド層8をコンタクト層としてGa<sub>a</sub>Nで形成することができる。活性層6に接してAlを含む第2のp型クラッド層8を形成する場合には、活性層6の反対側の主面（n層側）には、バッファ層となるGa<sub>a</sub>N、InGa<sub>a</sub>N等の第1のn型クラッド層5が接して形成されていることが望ましい。

【0024】この第2のp型クラッド層8の作用も前記第2のn型クラッド層4の作用と同じであり、第2のp型クラッド層8は50オングストロームないし1μmの膜厚で形成することが望ましい。また、第2のp型クラッド層8を構成するAl<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>Nにおけるb値は0.6以下、さらに好ましくは0.4以下にすることが望ましく、一般にAlの混晶比（b値）が多くなるに従

って活性層の発光波長が長波長となる傾向にある。

【0025】このようにAlを含む窒化物半導体層またはGaN層を前記第2のn型クラッド層4、前記第2のp型クラッド層8とすることにより、Inを含む活性層6、第1のn型、p型クラッド層5、7とのバンドオフセットを大きくできるので発光効率を上げることができる。しかも活性層6との熱膨張係数差を大きくして、活性層の発光波長を長波長に移行させることが可能となる。

【0026】ここで、活性層とクラッド層の好ましい組み合わせを述べる。まず、活性層6と第1のクラッド層5、7の組み合わせは、第1のn型クラッド層を $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ )で形成し、活性層を $In_z Ga_{1-z} N$  ( $0 < z < 1$ )を含む量子井戸構造とし、第1のp型クラッド層を $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ )で形成することである。但し、これらの組み合わせにおいて、バンドギャップエネルギーの関係から $x < z$ の条件を満たしていることはいうまでもない。活性層6は、単一量子井戸構造の場合では井戸層を100オングストローム以下の厚さに形成し、多重量子井戸構造では井戸層を100オングストローム以下の厚さに、および障壁層を150オングストローム以下の厚さに形成する。いずれの量子井戸構造の活性層でも、n型またはノンドープとするとバンド間発光による半値幅の狭い発光が得られるので最も好ましい。

【0027】次に、最も好ましい組み合わせは、第2のn型クラッド層4を $Al_a Ga_{1-a} N$  ( $0 < a < 1$ )で形成し、第1のn型クラッド層5を $In_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ )で形成し、活性層6を $In_z Ga_{1-z} N$  ( $0 < z < 1$ )を含む量子井戸構造とし、第1のp型クラッド層7を $Al_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ )で形成し、第2のp型クラッド層8を $Al_b Ga_{1-b} N$  ( $0 < b < 1$ )で形成することである。この組み合わせの場合、第1のn型クラッド層5、第1のp型クラッド層7のいずれか一方または両方を省略してもよい。省略した場合、前記のように、第2のn型クラッド層4または第2のp型クラッド層8が、それぞれ第1のクラッド層として作用する。この組み合わせによると、第1のクラッド層5、7と活性層6だけでは、活性層6に十分な引っ張り応力が得られない場合に、第1のクラッド層5、7の外側にさらにAlを含む第2のクラッド層を形成して、第2のクラッド層4、8の熱膨張係数と活性層6の熱膨張係数の差を大きくすることができる。従って、活性層6を膜厚の薄い井戸層と障壁層との多重量子井戸構造、又は井戸層のみの単一量子井戸構造とすることにより、界面に作用する引っ張り応力により、活性層のバンドギャップが小さくなり、発光波長が長波長側にシフトされ得る。

【0028】さらに、本発明の素子の好ましい態様において、インジウムを含むn型窒化物半導体またはn型Ga

Nにより第1のn型クラッド層5を形成する場合に、前記第1のn型クラッド層と前記活性層6との総膜厚を300オングストローム以上に調整する。この総膜厚を300オングストローム以上とすることにより、GaN、InGaNがバッファ層の作用をして、活性層を好ましい量子井戸構造とすることができ、さらに第1のp型クラッド層7、第2のp型クラッド層8にクラックが入るのを防止できる。

【0029】なお、本発明において、前記 $In_x Ga_{1-x} N$ 、 $In_y Ga_{1-y} N$ 、 $In_z Ga_{1-z} N$ とは、その式中においてInGaNの効果を変化させない範囲でGaまたはInの一部を極微量のAlで置換したInAlGa<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N、Al<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>Nにおいても、その式中においてAlGaNの効果を変化させない範囲でGaまたはAlの一部を極微量のInで置換したInAlGa<sub>a</sub>Nも前記式中に含まれるものとする。

【0030】さらにまた、活性層6にドナー不純物および/またはアクセプター不純物をドーピングしてもよい。不純物をドーピングした活性層の結晶性がノンドープと同等であれば、ドナー不純物をドーピングすると、ノンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。アクセプター不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5eV低エネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広がる。アクセプター不純物とドナー不純物との両者をドーピングすると、アクセプター不純物のみをドーピングした活性層の発光強度に比べその発光強度をさらに大きくすることができる。特に、アクセプター不純物をドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電型はSi等のドナー不純物をもドーピングしてn型とすることが好ましい。しかし、本発明では活性層はバンド間発光で強力に発光するのが理想であるので、活性層をノンドープのInGaNで形成することが最も好ましい。活性層に不純物をドーピングするとノンドープのものよりも結晶性が悪くなる傾向にある。また、ノンドープのInGaNを活性層とした発光素子は、不純物をドーピングした発光素子よりもV<sub>f</sub>（順方向電圧）を低くすることができる。

【0031】多重量子井戸構造の活性層は、例えばInGaN/GaN、InGa<sub>a</sub>N/InGa<sub>a</sub>N（組成が異なる）等の組み合わせで、それぞれの井戸層+障壁層を積層した薄膜積層構造である。活性層を多重量子井戸構造とすると、単一量子井戸構造の活性層よりも発光出力が向上する。多重量子井戸構造の活性層において、井戸層の厚さは、数オングストローム~数十オングストロームにし、障壁層も同様に数オングストローム~数十オングストロームの厚さとし、井戸層と障壁層とを積層して、多重量子井戸構造とする。その場合、井戸層は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下の膜厚が望ましい。この井戸層の膜厚の範囲

は単一量子井戸構造の活性層（単一の井戸層により構成される）についても同様である。一方、多重量子井戸構造における障壁層は、150オングストローム以下、さらに好ましくは100オングストローム以下の厚さが望ましい。また、井戸層、障壁層にドナー、アクセプター不純物をドーピングして多重量子井戸構造を形成してもよい。このように膜厚の薄い層を多層に積層することにより、結晶内の歪みを活性層で弾性的に吸収することができる。

【0032】また、図1に示すように、第1のn型クラッド層5または第2のn型クラッド層4に接して電極を形成する層としてn型GaNよりなるn型コンタクト層3を形成することが好ましく、前記第1のp型クラッド層7または第2のp型クラッド層8に接して電極を形成する層としてp型GaNよりなるp型コンタクト層9を形成することが好ましい。但し、このコンタクト層3、9は、第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8がGaNで形成されていれば、特に形成する必要はなく、第2のクラッド層4、8をコンタクト層とすることも可能である。GaNよりなるコンタクト層3、9を形成するのは、第1のクラッド層、第2のクラッド層のような3元以上の混晶は電極とオーミックコンタクトが得られにくいからである。特に第2のクラッド層のようにAlを含む窒化物半導体は電極とオーミックコンタクトを得るのが困難である。従って最もオーミックコンタクトの得られやすいGaNを電極とのコンタクト層に形成することによって、Vfが低く発光効率がよい発光素子を実現できる。

【0033】図2は単一量子井戸構造の活性層の厚さ、つまり井戸層の厚さと、発光素子の発光ピーク波長との関係を示す図である。なお、図2において線は活性層がノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる発光素子を示し、線は活性層がノンドープIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる発光素子を示している。両方とも発光素子の構造は第2のクラッド層と、第1のn型クラッド層と、活性層と、第1のp型クラッド層と、第2のp型クラッド層とを順に積層したダブルヘテロ構造である。第2のn型クラッド層は0.1μmのSiドープn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなり、第1のn型クラッド層は500オングストロームのIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなり、第1のp型クラッド層は20オングストロームのMgドープp型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなり、第2のp型クラッド層は0.1μmのMgドープp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるダブルヘテロ構造である。図2では前記活性層の膜厚を変えた際に発光波長が変化することを示している。

【0034】線で示すIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N活性層は、本来のバンドギャップエネルギーでは380nm付近の紫外発光を示すが、膜厚を薄くすることにより420nm近くまで波長を長して青紫色の発光にできる。また線

ップエネルギーでは480nm付近の青緑色発光であるが、同じく膜厚を薄くすることにより、520nm近くの純緑色発光が得られる。このように第1のn型クラッド層と第1のp型クラッド層で挟まれた活性層の膜厚を薄くすることにより、発光波長を長波長にすることができる。つまり、通常の膜厚の厚い活性層ではその活性層のバンドギャップエネルギーに相当する発光しか示さないが、本発明の単一量子井戸構造の活性層では、井戸層の膜厚を薄くすることによって、バンドギャップエネルギーが小さくなり、元の井戸層のバンドギャップエネルギーよりも低エネルギーの光、即ち長波長を発光させることが可能となる。しかもノンドープであるので、不純物をドーピングしたものよりも結晶性がよいので出力が高くなり、さらにバンド間発光で半値幅の狭い色純度に優れた発光が得られる。

【0035】また、従来の膜厚が厚いInGaNで活性層を形成すると、活性層の結晶性が悪く、例えばIn組成比が0.3~0.5では結晶性が悪くなって発光出力が非常に低かったが、薄膜にすることにより、大きなIn組成比でも結晶性良く成長できるようになるという作用もある。

【0036】従って、本発明において、井戸層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下となるように形成することが望ましい。図2は本発明の素子による発光素子の一例を示したものであるが、発光波長が長波長側に移行する波長範囲は、活性層に引っ張り応力を与える第2のクラッド層、第1のクラッド層の組成によっても異なり、またそれらの組成によって活性層の好ましい膜厚も多少変化する。

【0037】窒化物半導体において、AlNの熱膨張係数は $4.2 \times 10^{-6} / K$ であり、GaNの膨張係数は $5.59 \times 10^{-6} / K$ であることが知られている。InNに関しては、完全な結晶が得られていないため熱膨張係数は不明であるが、仮にInNの熱膨張係数がいちばん大きいと仮定すると、熱膨張係数の順序はInN > GaN > AlNとなる。一方、窒化物半導体の成長温度を見てみると、通常MBE法では500、MOVPE法では時に900以上の高温で成長させる。例えばMOVPE法によるとInGaNで700以上、AlGaNであると900以上で成長させる。そこで熱膨張係数の大きい活性層を、活性層よりも熱膨張係数の小さいクラッド層で挟んだ素子を高温で形成した後、室温にまで温度を下げると、熱膨張係数の大きい活性層がクラッド層に引っ張られ、活性層とクラッド層の界面に平行方向に引っ張り応力が活性層に作用する。このため、活性層のバンドギャップエネルギーが小さくなり、発光波長が長波長になるのである。つまり活性層のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N、In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N等は第1のクラッド層、および第2のクラッド層よりもInが多い分、熱膨張係数が大きい。従って活性層とクラッド層の界面に平行方向

に引っ張り応力が作用し、活性層のバンドギャップエネルギーが小さくなるので通常の活性層のバンド間発光よりも、発光波長を長くすることができるのである。特にその引っ張り応力は活性層を薄くするほど大きくなるので、発光波長をより長波長にすることが可能となる。

【0038】本発明の素子において好ましい態様は、インジウムを含むn型窒化物半導体、またはn型Ga<sub>n</sub>Nを第1のn型クラッド層として備え、その第1のn型クラッド層に接して、第1のn型クラッド層よりも熱膨張係数が大きいインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、この活性層を単一量子井戸若しくは多重量子井戸構造とすることによって、本来の活性層のバンドギャップエネルギーよりも低エネルギーの光が発光される素子であり、この素子において、前記第1のn型クラッド層と前記活性層との総膜厚が300オングストローム以上あることがさらに好ましい。また他の態様として、インジウムを含む窒化物半導体よりなる単一量子井戸構造若しくは多重量子井戸構造の活性層を備え、その活性層に接して、活性層よりも熱膨張係数が小さいアルミニウムを含むp型窒化物半導体を第1のp型クラッド層として備え、この活性層を単一量子井戸構造若しくは多重量子井戸構造とすることによって、本来の活性層のバンドギャップエネルギーよりも低エネルギーの光が発光される素子である。

【0039】従来の窒化物半導体発光素子は、上にも説明したように、InGa<sub>n</sub>Nを主とする活性層をAlGa<sub>n</sub>Nを主とする2つのクラッド層で挟んだ構造を有している。InGa<sub>n</sub>N活性層をAlGa<sub>n</sub>Nクラッド層を挟んだ従来の構造では、活性層の厚さを薄くするに従って、InGa<sub>n</sub>N活性層、AlGa<sub>n</sub>Nクラッド層にクラックが生じる傾向にある。例えば、活性層の厚さを200オングストローム未満にするとクラックが多数入ってしまうために素子作製が困難となる。これはAlを含むクラッド層が結晶の性質上、非常に硬い性質を有しており、薄い膜厚のInGa<sub>n</sub>N活性層のみではAlGa<sub>n</sub>Nクラッド層との界面から生じる格子不整合と、熱膨張係数差から生じる歪をInGa<sub>n</sub>N活性層で弾性的に緩和できないことを示している。このため、従来ではクラッド層、活性層中にクラックが入るために、活性層を薄くしようとしてもできなかったのが実状であった。

【0040】一方、本発明では図1に示すように、InとGaとを含む活性層6に接する層として、新たに第1のn型クラッド層5を形成している。この第1のn型クラッド層5は、活性層とAlを含む第2のn型クラッド層4の間のバッファ層として作用する。つまり第1のn型クラッド層5であるInを含む窒化物半導体またはGa<sub>n</sub>Nは結晶の性質として柔らかい性質を有しているため、Alを含む第2のクラッド層4と活性層6の格子定数不整合と熱膨張係数差によって生じる歪を吸収する働きがある。従って活性層を薄くしても活性層6、第2のn

型クラッド層4にクラックが入りにくいと推察される。第1のクラッド層5によって歪が吸収されるので、活性層は膜厚が200オングストローム以下になると引っ張り応力が作用して弾性的に変形してバンドギャップエネルギーが小さくなり発光波長が長くなる傾向にある。しかも活性層の結晶欠陥が少なくなる。従って、活性層の膜厚が薄い状態においても、活性層の結晶性が良くなるので発光出力が増大する。このように第1のn型クラッド層5をバッファ層として作用させるためには、結晶が柔らかい層である活性層6と第1のn型クラッド層5との膜厚の合計が300オングストローム以上あることが好ましい。

【0041】また、第1のp型クラッド層はアルミニウムを含む窒化物半導体で形成すると、出力が向上する。これはAlGa<sub>n</sub>Nが他の窒化物半導体に比べて、p型化しやすいか、あるいはInGa<sub>n</sub>Nよりなる活性層の分解を、第1のp型クラッド層成長時に抑える作用があるためと推察されるが、詳しいことは不明である。

【0042】窒化物半導体よりなる本発明の発光素子を製造するには、例えばMOVPE（有機金属気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）、HDVPE（ハイドライド気相成長法）等の気相成長法を用いて、基板上にIn<sub>a</sub>Al<sub>b</sub>Ga<sub>1-a-b</sub>N（0 ≤ a, 0 ≤ b, a + b ≤ 1）をn型、p型等の導電型でダブルヘテロ構造になるように積層することによって得られる。基板には例えばサファイア（C面、A面、R面を含む）、SiC（6H-SiC、4H-SiCも含む）、スピネル（MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、特にその（111）面）、ZnO、Si、GaAs、あるいは他の酸化物単結晶基板（NGO等）が使用できる。また、n型の窒化物半導体はノンドープの状態でも得られるが、Si、Ge、S等のドナー不純物を結晶成長中に半導体層中に導入することによって得られる。またp型の窒化物半導体層はMg、Zn、Cd、Ca、Be、C等のアクセプター不純物を同じく結晶成長中に半導体層中に導入するか、または導入後400以上でアニーリングを行うことにより得られる。

【0043】

【実施例】以下本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。以下の実施例は、MOVPE法による窒化物半導体層の成長方法を例示している。

実施例1

本実施例を図1を参照して記述する。

【0044】TMG（トリメチルガリウム）とNH<sub>3</sub>とを用い、反応容器にセットしたサファイア基板1のC面に500 ÅでGa<sub>n</sub>Nよりなるバッファ層2を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0045】次に温度を1050 °Cまで上げ、TMG、NH<sub>3</sub>に加えSiH<sub>4</sub> ガスを用い、Siドープn型Ga<sub>n</sub>Nよりなるn型コンタクト層3を4 μmの膜厚で成長させた。

【0046】続いて原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）を加え、同じく1050 でSiドープn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層よりなる第2のクラッド層4を0.1μmの膜厚で成長させた。

【0047】次に、温度を800 に下げ、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、NH<sub>3</sub> およびSiH<sub>4</sub> を用い、Siドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる第1のn型クラッド層5を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0048】続いてTMG、TMIおよびNH<sub>3</sub> を用い、800 でノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる活性層6（単一量子井戸構造）を30オングストロームの膜厚で成長させた。

【0049】さらに、TMG、TMI、NH<sub>3</sub> に加え新たにCp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い800 でMgドープp型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる第1のp型クラッド層7を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0050】次に温度を1050 に上げ、TMG、TMA、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgドープp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる第2のp型クラッド層8を0.1μmの膜厚で成長させた。

【0051】続いて、1050 でTMG、NH<sub>3</sub> およびCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgドープp型GaNよりなるp型コンタクト層9を0.5μmの膜厚で成長させた。以上の操作終了後、温度を室温まで下げてウェーハを反応容器から取り出し、700 でウェーハのアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した。次に、最上層のp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3の表面が露出するまでエッチングした。エッチング後、n型コンタクト層3の表面にTiとAlよりなる負電極、p型コンタクト層9の表面にNiとAuよりなる正電極を形成した。電極形成後、ウェーハを350μm角のチップに分離した後、常法に従い半値角15度の指向特性を持つLED素子とした。このLED素子はIf（順方向電流）20mAでVf3.5V、発光ピーク波長410nmの青色発光を示し、発光出力は5mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度のよい発光を示した。

#### 【0052】実施例2

活性層をIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nで形成し、その膜厚を10オングストロームとした以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If20mAにおいて、発光ピーク波長425nmの青紫色発光を示し、発光出力が5mWと非常に優れた特性を示し、発光スペクトルの半値幅も20nmと色純度のよい青色発光を示した。

#### 【0053】実施例3

活性層6をノンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nで形成した以

外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If20mAにおいて、発光ピーク波長465nmの青色発光を示し、発光出力が5mWと非常に優れた特性を示し、発光スペクトルの半値幅も25nmと色純度のよい青色発光を示した。

#### 【0054】実施例4

第1のp型クラッド層7を形成しない以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If20mAでVf3.5V、発光ピーク波長425nmの青色発光を示し、同じく発光出力は7mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであった。この発光素子は活性層にAlGaNよりなる第2のクラッド層8が直接接しているため活性層の引っ張り応力が大きくなりピーク波長が長波長になると共に、発光出力が増大した。

#### 【0055】実施例5

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nを300オングストロームの膜厚で成長させ、次に活性層6としてノンドープIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nを10オングストロームの膜厚で成長させ、次に第1のp型クラッド層7としてMgドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N層を300オングストロームの膜厚で成長させた以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If20mAにおいて、Vf3.5V、発光ピーク波長500nm、半値幅40nmの緑色発光を示し、発光出力3mWと非常に優れた特性を示した。

#### 【0056】実施例6

実施例1の手法において、n型コンタクト層3を成長させた後、次に直接膜厚70オングストロームのIn<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nからなる単一量子井戸構造の活性層6を成長させた。なお、本素子において、n型コンタクト層3が第1のn型クラッド層として作用している。次に活性層6の上に、第2のp型クラッド層8を成長させ、最後にp型コンタクト層9を成長させた。これ以降は実施例1と同様にして発光素子を作製した。このLED素子は、If20mAにおいて、Vf3.5V、発光ピーク波長525nm、半値幅40nmの緑色発光を示し、発光出力4mWと非常に優れた特性を示した。

#### 実施例7

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型GaNを300オングストロームの膜厚で成長させ、次に活性層6としてノンドープIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nを20オングストロームの膜厚で成長させ、次に第1のp型クラッド層7としてMgドープp型GaN層を300オングストロームの膜厚で成長させた以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If20mAにおいて、Vf3.5V、発光ピーク波長515nm、半値幅40nmの緑色発光を示し、発光出力3mWであった。

#### 【0057】実施例8

アクセプター不純物源としてDEZ（ジエチルジシラン）、ドナー不純物源としてSiH<sub>4</sub>を用い、活性層6としてSiとZnをドープしたn型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層を50オングストロームの膜厚で形成した以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、このLED素子はIf20mAにおいて、Vf3.5V、発光ピーク波長480nm、半値幅80nmの緑色発光を示し、発光出力2mWであった。

#### 【0058】実施例9

活性層をノンドープIn<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>Nで形成した以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLEDは、If20mAでVf3.5V、発光ピーク波長650nmの赤色発光を示し、発光出力は0.7mWであった。

#### 【0059】実施例10

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nを500オングストロームの膜厚で形成した。次に活性層6を形成するために、井戸層としてノンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nを10オングストロームの厚さに形成し、その上に障壁層としてノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nを10オングストロームの厚さに形成し、これを交互に4回づつ繰り返し、最後にノンドープのIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N井戸層を10オングストローム形成して、総厚90オングストロームの多重量子井戸構造の活性層を形成した。次に、活性層の上に第1のp型クラッド層として、Mgドープp型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nを500オングストロームの膜厚で形成する。その他は実施例1と同様にしてサファイアの上に所定の窒化物半導体を積層したウェーハを作製した。

【0060】しかる後、実施例1と同様にして窒化物半導体層をエッチングした後、最上層であるp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3に20μmの幅で負電極、p型コンタクト層9に2μmの幅で正電極をそれぞれ形成した。

【0061】ついで、窒化物半導体層を形成していない方のサファイア基板面を研磨して基板の厚さを90μmにし、サファイア基板表面のM面（六方晶系において六角柱の側面に相当する面）をスクライブする。スクライブ後、ウェーハを700μm角のチップに分割し、図3に示すようなストライプ型のレーザを作製した。なお、図3は本実施例によるレーザ素子の斜視図を示しており、ストライプ状の正電極と直交した窒化物半導体層面を光共振面としている。次に、このチップをヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンダした後、レーザ発振を試みたところ、常温において、しきい値電流密度1.5kA/cm<sup>2</sup>で発振波長415nmのレーザ発振が確認された。

#### 【0062】実施例11

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nを500オングストロームの厚さに形成した

後、活性層6を形成するために井戸層としてノンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nを25オングストロームの厚さに形成し、その上に障壁層としてノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nを50オングストロームの厚さに形成する操作を交互に13回づつ繰り返し、最後にノンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nを25オングストロームの厚さに形成して合計膜厚1000オングストロームの多重量子井戸構造の活性層を形成した。これ以外は実施例10と同様にしてレーザ素子を作製した。このレーザ素子は、常温で、しきい値電流密度1.0kA/cm<sup>2</sup>で415nmの発振波長のレーザ発振が確認された。

#### 【0063】実施例12

活性層6を形成するために井戸層としてノンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nを25オングストロームの厚さに形成し、その上に障壁層としてノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nを50オングストロームの厚さに形成する操作を交互に26回づつ繰り返し、最後にノンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nを25オングストロームの厚さに形成して合計膜厚1975オングストロームの多重量子井戸構造の活性層を形成した以外は実施例11と同様にしてレーザ素子を作製した。このレーザ素子は、常温で、しきい値電流密度1.0kA/cm<sup>2</sup>で415nmの発振波長のレーザ発振が確認された。

#### 【0064】実施例13

実施例3で得られた450nmの青色LEDと、実施例5で得られた515nmの緑色LEDと、従来のGaAs系材料またはAlInGaP系の材料よりなる発光出力3mW、660nmの赤色LED一個づつを1ドットとし、このドットを16×16で組み合わせることでLEDパネルにし、そのLEDパネルを並べて320×240画素のフルカラーLEDディスプレイを作製したところ、白色の発光輝度で一萬ニットの面発光を達成した。

#### 【0065】

【発明の効果】本発明においては、熱膨張係数の小さいクラッド層で熱膨張係数の大きい活性層を挟むことにより、活性層に引っ張り応力がかかるので、活性層のバンドギャップエネルギーが本来のそれより小さくなり、発光波長を長波長にすることができる。しかもInを含む窒化物半導体よりなる活性層に接して、熱膨張係数の小さいInを含む窒化物半導体またはGaNよりなる第1のクラッド層をすると、この第1のクラッド層が新たなバッファ層として作用することにより、活性層が弾性的に変形して結晶性が良くなり発光出力が格段に向上する。例えば従来の青色LEDでは450nmにおいて、光度2cd、発光出力が3mWで半値幅が80nm程度であったが、本発明ではその倍近くの発光出力を達成することができ、半値幅は半分以下と非常に色純度が向上した。また従来では、活性層のインジウム組成比を大きくすると結晶性が悪くなって、バンド間発光で520nm付近の緑色発光を得ることは難しかったが、本発明に

よると活性層の結晶性が良くなるので、従来では困難であった色純度のよい高輝度な緑色LEDも実現できる。

【0066】また、本発明の素子では活性層の井戸層の厚さが薄く、また多重量子井戸構造では各層の厚さが臨界膜厚以下となっているので、クラッド層と活性層との熱膨張係数差により活性層に引っ張り応力が働いても活性層は弾性的に変形し、InGa<sub>N</sub>活性層中に引っ張り応力による結晶欠陥、または活性層とクラッド層との間の格子不整合による結晶欠陥が生じない。また活性層が弾性的に変形するので、InGa<sub>N</sub>の価電子帯のエネルギー縮退が解けて正孔のエネルギー状態密度が減少し、電子と正孔がInGa<sub>N</sub>活性層に注入された場合、反転分布が起こりやすくなりレーザ発振のしきい値電流が低減してレーザ発振が起こりやすいという効果もある。

【0067】一方、従来のLED、LD（レーザダイオード）は同一組成の活性層の厚さが1000～2000オングストロームあり非常に厚く、活性層が弾性的に変形する臨界膜厚を超えているので、活性層中に引っ張り応力による結晶破壊が生じており、多数の結晶欠陥が活性層中に生じている。このため、従来のLEDでは電流20mAでノンドープの活性層ではIn組成比0.05で発光出力0.1mW以下しか発光しなかったが、本発明では数mW以上の発光出力を達成することができた。

【0068】以上説明したように本発明の素子によると、従来は実現できなかった高輝度の緑色LEDが初め\*

\*て実現し、実用化可能となる。この効果は非常に大きく、実施例13に示すように高輝度フルカラーLEDディスプレイが初めて作製可能となり、また照明用光源、読み取り用光源等、その産業上の利用価値は多大なものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す概略断面図。

【図2】 活性層の厚さと発光素子の発光ピーク波長との関係を示すグラフ図。

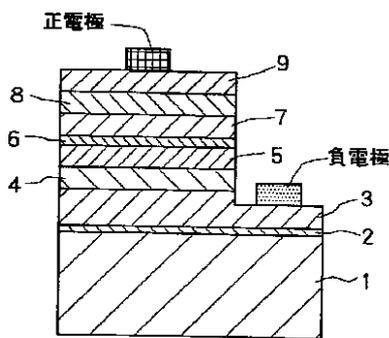
【図3】 本発明の一実施例に係る窒化物半導体レーザ素子の構造を示す斜視図。

【図4】 従来のLED素子のピーク発光波長と発光出力の関係を示すグラフ図。

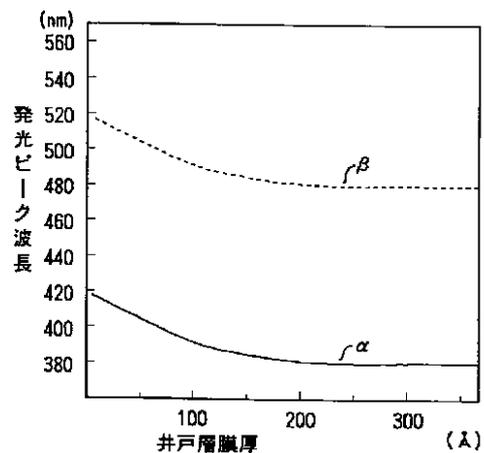
【符号の説明】

- 1...サファイア基板
- 2...バッファ層
- 3...n型コンタクト層
- 4...第2のn型クラッド層
- 5...第1のn型クラッド層
- 6...活性層
- 7...第1のp型クラッド層
- 8...第2のp型クラッド層
- 9...p型コンタクト層

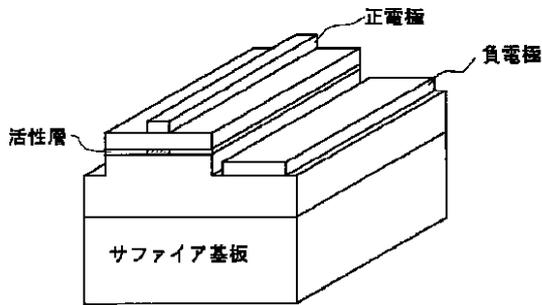
【図1】



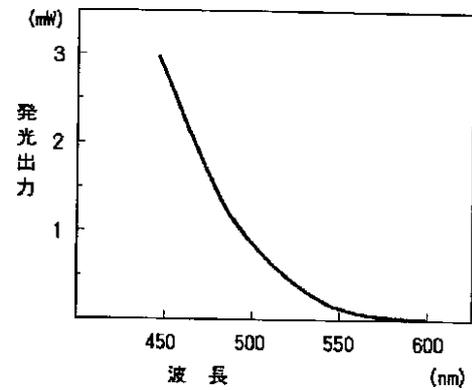
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平6 - 305259  
 (32)優先日 平6 (1994)12月9日  
 (33)優先権主張国 日本 ( J P )  
 (31)優先権主張番号 特願平7 - 57050  
 (32)優先日 平7 (1995)3月16日  
 (33)優先権主張国 日本 ( J P )  
 (31)優先権主張番号 特願平7 - 57051  
 (32)優先日 平7 (1995)3月16日  
 (33)優先権主張国 日本 ( J P )

(56)参考文献 特開 平6 - 177423 ( J P , A )  
 特開 平6 - 21511 ( J P , A )  
 特開 平6 - 260683 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>6</sup>, D B 名)  
 H01L 33/00  
 H01S 3/18

早期審査対象出願