

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2735057号

(45)発行日 平成10年(1998) 4月 2日

(24)登録日 平成10年(1998) 1月 9日

(51)Int.Cl.⁶

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18(全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-322924

(22)出願日 平成7年(1995)12月12日

(65)公開番号 特開平8-228025

(43)公開日 平成8年(1996)9月3日

審査請求日 平成7年(1995)12月12日

(31)優先権主張番号 特願平6-320100

(32)優先日 平6(1994)12月22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 かづよ

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】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層と、この活性層の第1の面側に設けられたn型Ga_nNよりなるn型コンタクト層との間に、該活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備え、該第1のn型クラッド層が活性層の第1の面に接して形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 n型コンタクト層が第1のn型クラッド層に接して形成されていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 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バンドギャップエネルギーが大き

2

く、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層と、その活性層の第2の面側に設けられたp型Ga_nNよりなるp型コンタクト層との間に、その活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備え、その第1のp型クラッド層が活性層の第2の面に接して形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 p型コンタクト層が第1のp型クラッド層に接して形成されていることを特徴とする請求項4に

10

記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項6】 第1のp型クラッド層に接して、第1のp型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層が形成されていることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項7】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層と、この活性層の第1の面側に設けられたn型Ga_aNよりなるn型コンタクト層との間に、該活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備え、該第1のn型クラッド層が活性層の第1の面に接して形成されており、さらに前記活性層の第2の面側には、その活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備え、その第1のp型クラッド層が活性層の第2の面に接して形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項8】 n型コンタクト層が第1のn型クラッド層に接して形成されていることを特徴とする請求項7に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項9】 p型Ga_aNよりなるp型コンタクト層が第1のp型クラッド層に接して形成されていることを特徴とする請求項7または8に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項10】 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バンドギャップエネルギーが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層が形成されていることを特徴とする請求項7に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項11】 n型コンタクト層が第2のn型クラッド層に接して形成されていることを特徴とする請求項10に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項12】 第1のp型クラッド層に接して、第1のp型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層が形成されていることを特徴とする請求項7に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項13】 p型Ga_aNよりなるp型コンタクト層が第2のp型クラッド層に接して形成されていることを特徴とする請求項12に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項14】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、この活性層の第1の面に接して、活性層よりもバンドギャップが大きく、かつn型In_yGa_{1-y}N (0 < y < 1) よりなる第1のn型クラッド層を備え、

該活性層の第2の面に接して、p型Al_bGa_{1-b}N (0 < b < 1) よりなるp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項15】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、その活性層の第2の面に接して、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつp型In_zGa_{1-z}N (0 < z < 1) よりなる第1のp型クラッド層を備え、その活性層の第1の面に接して、n型Al_aGa_{1-a}N (0 < a < 1) よりなるn型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項16】 活性層が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14のいずれか1項記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項17】 活性層がIn_xGa_{1-x}N (0 < x < 1) よりなる井戸層を有することを特徴とする請求項16に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項18】 活性層がIn_xGa_{1-x}N (0 < x < 1) よりなる井戸層と、In_yGa_{1-y}N (0 < y < 1、x > y)、若しくはGa_aNよりなる障壁層との組み合わせからなることを特徴とする請求項16または17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)等に使用される窒化物半導体(In_{a'}Al_{b'}Ga_{1-a'-b'}N、0 < a'、0 < b'、a' + b' < 1)よりなる発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】紫外領域から赤色領域までの波長領域に発光するLED、LD等の発光素子の材料として窒化物半導体(In_{a'}Al_{b'}Ga_{1-a'-b'}N、0 < a'、0 < b'、a' + b' < 1)が有望視されている。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1cdの青色LEDを発表し、1994年4月に光度2cdの青緑色LEDを発表し、1994年10月には光度2cd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】現在実用化されている青色、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Ga_aNよりなるn型コンタクト層と、n型AlGa_aNよりなるn型クラッド層と、n型InGa_aNよりなる活性層と、p型AlGa_aNよりなるp型クラッド層と、p型Ga_aN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。サファイア基板とn型コンタクト層との間にはGa_aN、AlGa_aNまたはAlNよりなるバッファ層が形成されている。活性層のn型InGa_aNはSi、Ge等のn型ドーパントおよび/またはZn、Mg等のp型ドーパントがドーブされており、LED素

子の発光波長は、その活性層の InGaIn の In 組成比を変えるか、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、紫外から赤色領域まで変化させることが可能となっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の LED は、20 mA において発光出力は 3 mW 近くあり、SiC よりなる LED と比較して 200 倍以上の出力を有しているが、短波長 LD の実現、さらに高輝度な LED を実現するためには、さらなる発光出力の向上が望まれている。従って、本発明は窒化物半導体よりなる発光素子の出力向上を目的とし、その目的達成のために新規な窒化物半導体発光素子の構造を提供するものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、窒化物半導体で形成されるダブルヘテロ構造において In と Ga を含む窒化物半導体よりなる活性層を挟むクラッド層について鋭意研究した結果、少なくとも一方の、好ましくは両方のクラッド層を In と Ga とを含む窒化物半導体で形成することにより、発光素子の出力が飛躍的に向上することを新たに見出し、本発明をなすに至った。

【0006】即ち、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第 1 の面と第 2 の面とを有する活性層を有し、該活性層の第 1 の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含む n 型窒化物半導体よりなる第 1 の n 型クラッド層を備え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。

【0007】また、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第 1 の面と第 2 の面とを有する活性層を有し、該活性層の第 2 の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含む p 型窒化物半導体よりなる第 1 の p 型クラッド層を備え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。

【0008】さらに、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第 1 の面と第 2 の面とを有する活性層を有し、該活性層の第 1 の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含む n 型窒化物半導体よりなる第 1 の n 型クラッド層を備え、該活性層の第 2 の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含む p 型窒化物半導体よりなる第 1 の p 型クラッド層を備え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。

【0009】上記各発明において、第 1 の n 型クラッド層上に n 型 GaIn よりなる n 型コンタクト層を形成し、および/または第 1 の p 型クラッド層上に p 型 GaIn よりなる p 型コンタクト層を形成することができる。

【0010】また、上記各発明において、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バンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含む n 型窒化物半導体よりなる第 2 の n 型クラッド層を形成し、および/または第 1 の p 型クラッド層に接して第 1 の p 型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含む p 型窒化物半導体よりなる第 2 の p 型クラッド層を形成することができる。この場合、第 2 の n 型クラッド層上に n 型 GaIn よりなる n 型コンタクト層を形成し、および/または第 2 の p 型クラッド層上に p 型コンタクト層を形成することができる。本発明の 1 つのより好ましい態様において、活性層は、量子井戸構造として形成される。

【0011】

【作用】従来の窒化物半導体発光素子は InGaIn よりなる活性層を AlGaIn よりなるクラッド層で挟んだ構造を有していた。一方、本発明では新たにこの InGaIn よりなる活性層を、その活性層よりもバンドギャップの大きい InGaIn で挟むことにより発光出力が飛躍的に向上することを見いだした。これは新たな InGaIn クラッド層が InGaIn 活性層と AlGaIn クラッド層との間のバッファ層として働いているからである。 InGaIn は結晶の性質として柔らかい性質を有しており、 AlGaIn クラッド層と InGaIn との格子定数不整と熱膨張係数差によって生じる結晶欠陥を吸収する働きがあると考えられる。このため新たに形成した InGaIn クラッド層が、これら結晶欠陥を吸収して InGaIn 活性層の結晶欠陥が大幅に減少するので、 InGaIn 活性層の結晶性が飛躍的に良くなるので発光出力が増大するのである。

【0012】一方、従来の InGaIn 活性層を AlGaIn クラッド層を挟んだ構造では、例えば InGaIn 活性層の厚さを 200 オングストローム未満にすると、 AlGaIn クラッド層と InGaIn 活性層とにクラックが多数生じる。これは AlGaIn 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 InGaIn 活性層のみでは AlGaIn 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 InGaIn 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 InGaIn 活性層、 AlGaIn クラッド層にクラックが生じるので発光出力の大幅な向上が望めないのである。従って従来では InGaIn 活性層の膜厚を例えば 200 オングストローム以上にしないとクラックが生じ素子作製は困難であった。

【0013】

【発明の実施の形態】図 1 は、本発明の一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である。この発光素子は、基板 1 を有し、基板 1 上には、基板 1 とその上に形成される窒化物半導体層との格子不整合を緩和するバッファ層 2 が形成されている。バッファ層 2 上には、負電極を形成するための n 型コンタクト層 3 が形成

7

され、このコンタクト層 3 上には、第 2 の n 型クラッド層 4 が形成され、第 2 の n 型クラッド層 4 上には、第 1 の n 型クラッド層 5 が形成されている。第 1 の n 型クラッド層 5 上には、活性層 6 が、活性層 6 の上には、第 1 の p 型クラッド層 7 がそれぞれ形成されている。第 1 の p 型クラッド層 7 上には、第 2 の p 型クラッド層 8 が、その上には正電極を形成するための p 型コンタクト層 9 が形成されている。

【0014】本発明において、活性層 6 は、In および Ga を含有する窒化物半導体、好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) で形成され、n 型、p 型いずれでもよいが、ノンドープ（不純物無添加）とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり、レーザ素子を実現する上で特に好ましい。活性層 6 に n 型ドーパントおよび/または p 型ドーパントをドーピングしてもよい。活性層 6 に n 型ドーパント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。活性層 6 に p 型ドーパント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 0.5 eV 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、半値幅は広くなる。活性層 6 に p 型ドーパントと n 型ドーパントとの双方をドーピングすると、前述した p 型ドーパントのみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特に p 型ドーパント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 n 型ドーパントをもドーピングして全体を n 型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させてレーザ素子とするには、ノンドープが最も好ましい。

【0015】活性層 6 の厚さは、全体を単一組成の窒化物半導体で構成する場合、0.5 μm 以下、さらに好ましくは 0.1 μm 以下、最も好ましくは 0.05 μm (500 オングストローム) 以下の厚さに調整することができる。インジウムを含む窒化物半導体は、単一組成である場合、厚さが増すほど結晶欠陥が生じやすく、その厚さが薄いほど結晶性が良くなる傾向にあるからである。

【0016】ところで、活性層 6 を量子井戸構造（単一量子井戸構造または多重量子井戸構造）とすることにより、発光波長の半値幅がより狭くなり、発光出力も向上することがわかった。

【0017】ここで、量子井戸構造とは、ノンドープの活性層構成窒化物半導体（好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)）による量子準位間の発光が得られる活性層の構造をいい、単一量子井戸構造とは、井戸層が単一組成の 1 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、単一の井戸層のみにより構成される。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。すなわち、多重量子井戸構造の活性層は、例え

8

ば $\text{InGaIn}/\text{GaIn}$ 、 $\text{InGaIn}/\text{InGaIn}$ （組成が異なる）等の井戸層/障壁層の組み合わせからなり、これら井戸層および障壁層を交互に積層した薄膜積層構造である。このように、活性層 6 を多重量子井戸構造とする場合、障壁層は、 InGaIn ばかりでなく、 GaIn で形成することもできる。活性層 6 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。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。すなわち、多重量子井戸構造の活性層において、井戸層の厚さを数オングストローム～数十オングストロームとし、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、これら井戸層と障壁層を積層して、多重量子井戸構造とすることができる。

【0018】本発明において、第 1 の n 型クラッド層 5 は、In と Ga を含有する n 型窒化物半導体、好ましくは、n 型 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) で形成される。また、第 1 の p 型クラッド層 7 は、In と Ga を含有する p 型窒化物半導体、好ましくは、p 型 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 1$) で形成される。これらクラッド層 5 および 7 は、いずれか一方のみを形成してもよいが、特に好ましくは、図 1 に示すように、両者を形成する。インジウムを含む第 1 の n 型クラッド層 5 および第 2 の p 型クラッド層 7 は結晶が柔らかいので、これらのクラッド層 5、7 がクッションのようにバッファ層の作用をして、これらのクラッド層 5、7 の外側に、後述する第 2 の n 型クラッド層 4、第 2 の p 型クラッド層 8、n 型コンタクト層 3、p 型コンタクト層 9 を形成した際に、これらの層（3、4、8、9）中にクラックが入るのを防止することができる。 InGaIn がバッファ層として作用する膜厚の好ましい範囲は、活性層 6 と第 1 の n 型クラッド層 5、活性層 6 と第 1 の p 型クラッド層 7、活性層 6 と第 1 の n 型クラッド層 5 と第 1 の p 型クラッド層 7 の組み合わせにおいて、その組み合わせた InGaIn 層の総膜厚を 300 オングストローム以上にすることが好ましい。また、発光素子の場合には第 1 の n 型クラッド層 5 を省略すれば、後に述べる第 2 の n 型クラッド層 4 が第 1 の n 型クラッド層 5 として作用し、また第 1 の p 型クラッド層 7 を省略すれば同じく後に述べる第 2 の p 型クラッド層 8 が第 1 の p 型クラッド層 7 として作用する。

【0019】以上、 InGaIn よりなる第 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 について説明したが、これらの InGaIn の In 組成比、つまり上記各組成式における x 値、y 値、z 値は、それぞれ、

0.5以下、好ましくは0.3以下、最も好ましくは0.2以下に調整することが望ましい。インジウムのモル比が大きくなるに従って、InGaNの結晶性が悪くなり発光出力が低下する傾向にあるからである。さらに、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の一部を微量のAlで置換した $InAlGaN$ も前記式中に含まれるものとする。例えば $In_a Al_b Ga_{1-a-b} N$ 式中で b' 値が0.1以下であれば第1のn型クラッド層、活性層、第2のp型クラッド層の効果は変わることがない。ただ、Alを含有させると結晶が硬くなる傾向にあるので四元混晶の窒化物半導体よりも、Alを含まない三元混晶のInGaNのみで活性層6、第1のn型クラッド層5、第1のp型クラッド層7を構成するのが発光出力が大きくなり最も良い。

【0020】次に、アルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体、好ましくは、n型 $Al_a Ga_{1-a} N$ ($0 < a < 1$)よりなる第2のn型クラッド層4と、アルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体好ましくは、p型 $Al_b Ga_{1-b} N$ ($0 < b < 1$)よりなる第2のp型クラッド層8は、いずれか一方のみを形成することができるが、望ましくは、図1に示すように、第1のn型クラッド層3に接して第2のn型クラッド層4を形成すると共に、第1のp型クラッド層7に接して第2のp型クラッド層8を形成する。第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8は50オングストローム～0.5 μm の膜厚で形成することが望ましい。また、AlGaNのAl混晶比、つまり上記各組成式におけるa値、b値は、それぞれ、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。AlGaNは結晶が硬く、a値、b値が0.6より大きいとAlGaN層にクラックが発生しやすいからである。前記InGaNからなる半導体層がバッファ層として作用しても、これらの値がそれぞれ0.6よりも大きいと、クラックが発生しやすくなる。

【0021】また、前記 $Al_a Ga_{1-a} N$ 、 $Al_b Ga_{1-b} N$ とは、その式中においてAlGaNの効果を変化させない範囲でGaの一部を微量のInで置換した $InAlGaN$ も前記式中に含まれるものとする。例えば $In_a Al_b Ga_{1-a-b} N$ 式中で a' 値が0.1以下であればAlGaNの効果はほとんど変わることがない。但し、微量のInを含有させるとバンドギャップが小さくなるので、第1のn型クラッド層5、活性層6、第2のp型クラッド層7よりもバンドギャップを大きくしなければならぬ。また、Inを含有させると結晶性が悪くなり発光出力が低下する傾向にあるので、四元混晶の窒化物半導体よりも、Inを含まない三元混晶のAlGaNのみで第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8を構成するのが発光出力が大きくなり最も好まし

い。このように、Alを含む層を第2のn型クラッド層4、および前記第2のp型クラッド層8とすることにより、活性層6、第1のn型クラッド層5、第1のp型クラッド層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。

【0022】活性層と第1のクラッド層の好ましい組み合わせは、第1のn型クラッド層を $In_y Ga_{1-y} N$ 、活性層を $In_x Ga_{1-x} N$ 、第1のp型クラッド層を $In_z Ga_{1-z} N$ で形成するものである。但し、この組み合わせにおいて、バンドギャップの関係から $y < x$ 、 $z < x$ を満たしていることはいうまでもない。活性層は、n型またはノンドープの方がバンド間発光による半値幅の狭い発光が得られるので好ましい。

【0023】さらに最も好ましい組み合わせは、第2のn型クラッド層を $Al_a Ga_{1-a} N$ 、第1のn型クラッド層を $In_y Ga_{1-y} N$ 、活性層を $In_x Ga_{1-x} N$ 、第1のp型クラッド層を $In_z Ga_{1-z} N$ 、第2のp型クラッド層を $Al_b Ga_{1-b} N$ で形成するものである。この組み合わせによると、最も結晶性に優れた窒化物半導体を積層したダブルヘテロ構造となり、飛躍的に発光出力が向上する。

【0024】次に、n型コンタクト層3は、望ましくは、図1に示すように、第2のn型クラッド層4に接してn型コンタクト層3を形成し、第2のp型クラッド層8に接してp型コンタクト層9を形成することが最も良い。また、n型コンタクト層3は、第2のn型クラッド層4、若しくは第1のn型クラッド層5のいずれかに形成可能であり、p型コンタクト層9は第2のp型クラッド層8、若しくは第1のp型クラッド層7のいずれかにも形成可能である。つまり、第2のn型クラッド層4を省略すれば、第1のn型クラッド層5に接して形成することができ、p型コンタクト層9も同様に第2のp型クラッド層8を省略すれば第1のp型クラッド層7に接して形成することができる。極端な場合は、第1のn型クラッド層5と第2のn型クラッド層4とを共に省略して、n型コンタクト層9をクラッド層としたり、第1のp型クラッド層7と第2のp型クラッド層8とを共に省略して、p型コンタクト層9をクラッド層とすることも可能であるが、発光出力は省略しないものに比較して極端に低下する傾向にあるので望ましくない。即ち、本発明の発光素子では、図1に示す構造のものが最も高出力が得られる。

【0025】さらにまた、n型コンタクト層3、p型コンタクト層9を構成する窒化物半導体はAl、Inを含まないGaNとする必要がある。コンタクト層は電極を形成する層であるので、結晶性が良く、キャリア濃度が大きい層を形成すれば電極材料とオーミックが得られやすくなる。そのためにはGaNが最も好ましい。また、n型コンタクト層3とオーミックが得られやすい電極材料としてはTiとAlを含む金属材料が好ましく、p型

コンタクト層 9 とオーミックが得られやすい電極材料には Ni と Au を含む金属材料が好ましい。このように電極を形成すべき層として GaN よりなるコンタクト層を形成すると、発光素子の Vf (順方向電圧) を低下させ、発光効率を向上させることができる。

【0026】次に、図 2 に本発明の一実施例に係る発光素子 (レーザーダイオード) の構造を示す概略断面図を示し、図 3 に図 2 の発光素子の斜視図を示す。図 2 において、図 1 と同様の部分には同じ符号を付している。この発光素子は、n 型コンタクト層 3 と第 2 の n 型クラッド層 5 との間に形成された n 型多層膜 4 4 を有し、また p 型コンタクト層 9 と第 2 の p 型クラッド層 8 との間に形成された p 型多層膜 5 5 を有する。なお、n 型多層膜 4 4 および p 型多層膜 5 5 は互いに組成の異なる窒化物半導体、つまり互いに屈折率の異なる 2 種類の窒化物半導体が、例えば $\lambda/4n$ (λ : 波長、 n : 屈折率) で交互に 2 層以上積層されて、活性層 6 の発光波長を多層膜 4 4、5 5 で反射できるように設計されている。第 2 の n 型クラッド層 4 と n 型コンタクト層 3 との間に n 型多層膜 4 4 を形成し、さらに第 2 の p 型クラッド層 8 と p 型コンタクト層 9 との間に p 型多層膜 5 5 を形成することにより、図 2、図 3 に示すように例えば正電極を 10 μm 以下のストライプ電極としてレーザー発振を試みた際、活性層 6 の発光を多層膜反射層で活性層に閉じこめ可能となるので、容易にレーザー発振できる。なお前記多層膜 4 4、5 5 にはそれぞれ n 型ドーパント、p 型ドーパントがドーパされて導電型が決定されている。

【0027】また、図 2 に示すようにサファイアを基板としてレーザー素子を作製する場合、レーザー素子の構造はフリップチップ方式となる。つまり同一面側から正電極、負電極を取り出す構造となる。この場合、図 2 に示すように n 型層側に形成する n 型多層膜 4 4 は、負電極を形成するコンタクト層 3 の水平面よりも p 層側に形成することが好ましい。なぜなら、n 型多層膜 4 4 をコンタクト層 3 の水平面よりも基板 1 側に形成すると、第 2 の n 型クラッド層 4 と n 型コンタクト層 3 との屈折率差が小さいので、活性層 6 の発光が活性層 6 よりも下の n 型コンタクト層 3 中で広がってしまい、光閉じこめができないからである。これはサファイアのような絶縁性基板を使用した窒化物半導体レーザー特有の効果である。

【0028】図 2 および図 3 はレーザー素子を示すものであるが、前記 n 型多層膜 4 4、p 型多層膜 5 5 は、n 型層、p 型層のいずれか一方にのみ形成することもできる。いずれか一方に形成すると、例えば LED 素子を作製した場合に、多層膜で活性層の発光を発光観測面側に全反射できるので、発光素子の発光出力が向上する。また n 型多層膜 4 4 は n 型コンタクト層 3 の内部にも形成することができる。つまり n 型 GaN + n 型多層膜 4 4 + n 型 GaN の積層構造としても、多層膜の作用は変わることがない。但し、上に述べたように、サファイアを

基板とするフリップチップ方式のレーザー素子を実現する場合には、n 型多層膜 4 4 の位置を負電極を形成する n 型コンタクト層 3 の水平面よりも上、つまり p 型層側にすることが好ましいことはいうまでもない。また同様に p 型多層膜 5 5 も p 型コンタクト層 9 の内部に形成することも可能である。

【0029】前記多層膜を構成する 2 種類の窒化物半導体は、少なくとも一方がインジウムとガリウムとを含む窒化物半導体 {例えば $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ ($0 < c < 1$)} または GaN であることが好ましい。なぜなら、単一層を積層して多層膜とする場合、その単一層の一方に $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ 、GaN を形成することにより、GaN、 $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ 層がバッファ層のような作用をして、もう一方の単一層にクラックが入るのを防止することができるからである。これは $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ 層、GaN 層の結晶が AlGaN に比べて柔らかいことによるものである。これに対し、多層膜を例えば互いに Al 組成の異なる AlGaN 層により、例えば総膜厚 0.5 μm 以上となるように多層形成すると、多層膜中にクラックが入り、素子作製が困難となる。

【0030】多層膜を構成する 2 種類の窒化物半導体の好ましい組み合わせは、一方が前記のように $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ 若しくは GaN よりなり、もう一方がアルミニウムとガリウムとを含む窒化物半導体 {例えば、 $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d < 1$)} で構成することが最良である。なぜなら、 $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ と $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ とは屈折率の差が大きいのでこれらの材料で多層膜を構成することにより、発光波長に応じて反射率の大きい多層膜の設計が可能であるからである。また、 $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ がバッファ層の作用をしているため、 $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ 層にクラックが入ることなく 10 層以上積層可能となる。なお、 InN 、GaN、AlN の屈折率はそれぞれ、2.9、2.5、2.15 である。これらの混晶の屈折率はベガードの法則に従うと仮定し、組成に比例するとして求めることができる。

【0031】ここで、 $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ の c 値は上述したように 0.5 以下、好ましくは 0.3 以下、最も好ましくは 0.2 以下に調整することが望ましい。なぜなら、インジウムのモル比が大きくなるに従って、InGaN の結晶性が悪くなるからである。また $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ の d 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。0.6 より大きいと AlGaN 層にクラックが発生しやすいからである。

【0032】以上、発光素子の構造について説明したが、次に製造方法について簡単に説明する。窒化物半導体よりなる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 $\text{In}_{a'}\text{Al}_{b'}\text{Ga}_{1-a'-b'}\text{N}$ ($0 < a' < 1$ 、 $0 < b' < 1$ 、 $a' + b' < 1$) 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 1 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 ($MgAl_2O_4$ 、特にその (111) 面)、ZnO、Si、GaAs 等が使用でき、図 2 ではサファイア基板を示している。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 n 型ドーパント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 p 型ドーパント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 °C 以上でアニーリングを行うことにより得られる。バッファ層 2 は基板 1 と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために設けられ、例えば MOVPE 法では 500 °C 前後の低温で GaN、AlN、GaAlN 等が形成されることが多い。また SiC、ZnO のような窒化物半導体と格子定数の近い基板を使用する際にはバッファ層が形成されないこともある。

【0033】

【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 法による成長方法を示している。

実施例 1

図 1 を参照して本実施例を説明する。

【0034】TMG (トリメチルガリウム) と NH_3 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 °C で GaN よりなるバッファ層 2 を 500 Å の膜厚で成長させた。

【0035】次に温度を 1050 °C まで上げ、TMG、 NH_3 に加え SiH_4 ガスを用い、Si ドープ n 型 GaN 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。

【0036】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 °C で Si ドープ n 型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ よりなる第 2 の n 型クラッド層 4 を 0.1 μm の膜厚で成長させた。

【0037】次に、温度を 800 °C に下げ、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、 NH_3 、 SiH_4 を用い、Si ドープ n 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ よりなる第 1 の n 型クラッド層 5 を 500 Å の膜厚で成長させた。

【0038】続いて TMG、TMI、 NH_3 を用い 800 °C で ノンドープ $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなる活性層 6 を 400 Å の膜厚で成長させた。続いて TMG、TMI、 NH_3 に加え新たに Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い 800 °C で Mg ドープ p 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ よりなる第 1 の p 型クラッド層 7 を 500 Å の膜厚で成長させた。

【0039】次に温度を 1050 °C に上げ、TMG、T

MA、 NH_3 、 Cp_2Mg を用い、Mg ドープ p 型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ よりなる第 2 の p 型クラッド層 8 を 0.1 μm の膜厚で成長させた。

【0040】続いて 1050 °C で TMG、 NH_3 、 Cp_2Mg を用い、Mg ドープ p 型 GaN よりなる p 型コンタクト層 9 を 0.5 μm の膜厚で成長させた。反応終了後、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 °C 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 350 μm 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) 20 mA で Vf 3.1 V、発光ピーク波長 390 nm の紫色発光を示し、光度は 4 cd あり、発光出力は 6 mW であった。さらに、発光スペクトルの半値幅は 20 nm であり、非常に色純度の良い発光を示した。

【0041】実施例 2

活性層 6 を $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 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、If 20 mA において、Vf 3.1 V、発光ピーク波長 510 nm、半値幅 20 nm の緑色発光を示し、光度 16 cd、発光出力 6 mW とバンド間発光による高輝度な緑色 LED が実現できた。

【0042】実施例 3

p 型ドーパント源として DEZ (ジエチルジンク)、n 型ドーパントとして SiH_4 を用いて、活性層 6 として Si と Zn をドープした n 型 $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ を 1000 Å 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、If 20 mA において、発光ピーク波長 450 nm、半値幅 70 nm の青色発光を示し、光度 10 cd、発光出力 7 mW と優れた特性を示した。

【0043】実施例 4

第 1 の p 型クラッド層 7 を形成しなかった以外は実施例 1 と同様にして LED 素子を作製した。この LED 素子は、光度が 3 cd、発光出力が 5 mW であった以外は実施例 1 の LED 素子と同等であった。

【0044】実施例 5

第 1 の n 型クラッド層 5 を形成しなかった以外は実施例 1 と同様にして LED 素子を作製した。この LED 素子は、光度が 3 cd、発光出力が 5 mW であった以外は実施例 1 の LED と同等であった。

【0045】実施例 6

活性層を ノンドープ $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ により 200 Å の厚さに形成して単一量子井戸構造とした

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、 $I_f 20\text{mA}$ において、 $V_f 3.1\text{V}$ 、発光波長 450nm の青色発光を示し、光度が 5cd 、発光出力が 6mW であり、発光スペクトルの半値幅は 20nm とシャープなバンド間発光であった。

【0046】実施例 7

この実施例は図 2 および図 3 を参照して説明する。実施例 1 の手法に従い n 型コンタクト層 3 までを成長させた後、温度を 800 に下げ、TMG、TMI、 NH_3 、 SiH_4 を用い、Si ドープ n 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる薄膜を 380 オングストロームの膜厚で成長させた。次に、温度を 1050 に上げ TMG、TMA、 NH_3 、 SiH_4 を用い、Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる薄膜を 390 オングストロームの膜厚で成長させた。これらの操作を 20 回繰り返して、Si ドープ n 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層と Si ドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を交互に 10 層づつ積層した第 1 の n 型多層膜 44 を形成した。

【0047】次に第 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、および第 2 の p 型クラッド層 8 を実施例 1 と同様に成長させた。次に、温度を 800 にして TMG、TMI、 NH_3 、 Cp_2Mg を用い、Mg ドープ p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層を 380 オングストローム成長させ、続いて温度を 1050 にして、TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg ガスを用い、Mg ドープ p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を 390 オングストロームの膜厚で成長させ、それぞれ交互に 10 層づつ積層した第 2 の p 型多層膜 55 を形成した。

【0048】p 型多層膜 55 形成後、その p 型多層膜 55 の表面に実施例 1 と同様にして p 型コンタクト層 9 を成長させたウェーハを作製した。次に、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 $50\mu\text{m}$ の幅で負電極、p 型コンタクト層 9 に $10\mu\text{m}$ の幅で正電極をそれぞれ形成した。このように n 型コンタクト層の表面に n 型多層膜 44 を形成すると、自然に負電極を形成する水平面が n 型多層膜 44 よりも下、つまり図 2 に示すように基板側となる。

【0049】次に、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 $90\mu\text{m}$ 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）をスクライブした。スクライブ後、ウェーハを $700\mu\text{m}$ 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。またこのレーザ素子の電極を除いた表面を SiO_2 よりなる絶縁膜で被覆しているが、絶縁膜は特に図示していない。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ドした後、常温でレーザ発振を試みたところ、しきい値電流密度 $1.5\text{kA}/\text{cm}^2$ で発振波長 390nm のレーザ発振が確認された。

【0050】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の発光素子は、 InGaN 活性層の両側またはその一方に接して InGaN クラッド層を形成することにより、活性層の結晶性が良化して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 程度であったが、本発明では青色 LED でその倍以上の発光出力を達成することができる。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高輝度な緑色 LED も実現できた。このように本発明の発光素子は、従来では実現できなかった高輝度な緑色 LED を初めて実現させできたことにより、この効果は非常に大きく、高輝度のフルカラー LED ディスプレイが初めて製作可能となり、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発光素子の構造を示す模式断面図。

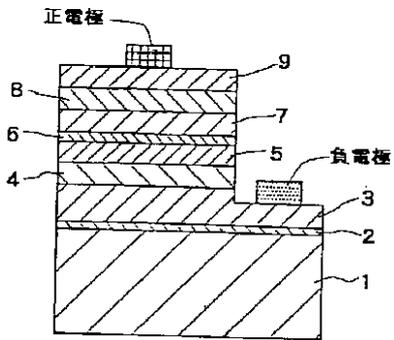
【図 2】 本発明の他の実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

【図 3】 図 2 の発光素子の構造を示す斜視図。

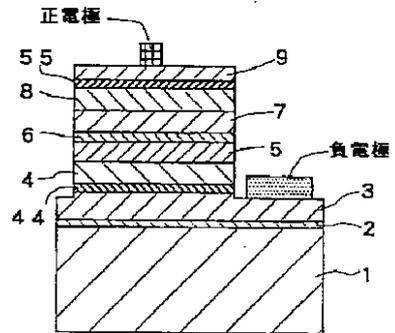
【符号の説明】

- 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
- 44...n 型多層膜
- 55...p 型多層膜

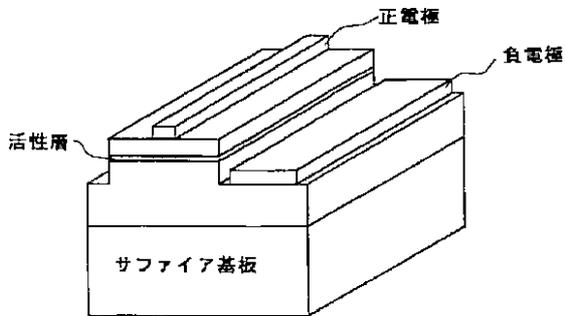
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

- (56) 参考文献 特開 平8 - 167735 (JP, A)
- 特開 平6 - 260682 (JP, A)
- 特開 平2 - 229475 (JP, A)