

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4628651号  
(P4628651)

(45) 発行日 平成23年2月9日(2011.2.9)

(24) 登録日 平成22年11月19日(2010.11.19)

(51) Int.Cl.

F 1

H01S 5/343 (2006.01)

H01S 5/343 610

H01L 21/205 (2006.01)

H01L 21/205

H01L 33/32 (2010.01)

H01L 33/00 186

請求項の数 4 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2003-98976 (P2003-98976)  
 (22) 出願日 平成15年4月2日 (2003.4.2)  
 (62) 分割の表示 特願平11-157646の分割  
 原出願日 平成11年6月4日 (1999.6.4)  
 (65) 公開番号 特開2003-283057 (P2003-283057A)  
 (43) 公開日 平成15年10月3日 (2003.10.3)  
 審査請求日 平成18年5月23日 (2006.5.23)  
 審査請求番号 不服2009-17616 (P2009-17616/J1)  
 審査請求日 平成21年9月18日 (2009.9.18)

(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  
 (74) 代理人 100100158  
 弁理士 鮫島 瞳  
 (74) 代理人 100068526  
 弁理士 田村 恒生  
 (74) 代理人 100138863  
 弁理士 言上 恵一  
 (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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化物半導体発光素子の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも A<sub>1</sub> を含む窒化物半導体からなる n 型クラッド層と、In を含む窒化物半導体を有する活性層と、p 型ガイド層と、A<sub>1</sub> を含む窒化物半導体からなる p 型クラッド層とを順に積層した窒化物半導体発光素子の製造方法において、

前記活性層を形成後、前記 p 型クラッド層よりバンドギャップの大きく、かつ前記活性層との間に電位障壁を形成し、膜厚が 10 以上 1000 以下である p 型キャップ層を形成する工程を有しており、

前記 p 型キャップ層を形成する工程は、

A<sub>1-a</sub>G<sub>a</sub><sub>1-a</sub>N (0 < a < 1) からなる第 1 の p 型窒化物半導体層を、前記 p 型クラッド層より低い温度で 10 ~ 100 の範囲の膜厚に成長させる第 1 工程と、

A<sub>1-b</sub>G<sub>b</sub><sub>1-b</sub>N (0 < b < 1) からなる第 2 の p 型窒化物半導体層を、前記第 1 の p 型窒化物半導体層の上に前記第 1 工程より高い温度で成長させる第 2 工程と、

を含むことを特徴とする窒化物半導体発光素子の製造方法。

## 【請求項 2】

前記第 2 の p 型窒化物半導体層は、前記第 1 の p 型窒化物半導体層より結晶欠陥が少ない請求項 1 に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法。

## 【請求項 3】

前記第 2 工程において、前記第 2 の p 型窒化物半導体層を、10 以上 300 以下の厚さに成長させる請求項 1 又は 2 に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法。

## 【請求項 4】

前記第1のp型窒化物半導体層は、 $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0.1 < a < 1$ ) からなり、前記第2のp型窒化物半導体層は、 $Al_bGa_{1-b}N$  ( $0.1 < b < 1$ ) からなる請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子、又は太陽電池、光センサー等の受光素子に使用される窒化物半導体 ( $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、 $0 < X, 0 < Y$ 、 $X+Y=1$ ) よりなる窒化物半導体素子に係り、特に発光素子、レーザ素子に関する。

10

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、窒化物半導体からなる青色レーザダイオードが実用可能になっている。

例えば、本発明者等は、Japanese Journal of Applied Physics. Vol.37(1998)pp.L309-L312に、サファイア上に成長させた $GaN$ 層上に、 $SiO_2$ よりなる保護膜を部分的に形成し、その保護膜上から再度 $GaN$ を有機金属気相成長法(MOVPE)等の気相成長法により成長させることで、保護膜が形成されていない部分(以下、窓部という)から成長が開始し、次第に保護膜上部で $GaN$ の横方向の成長が生じ、隣接する窓部から横方向に成長した $GaN$ 同士が保護膜上で接合して成長を続け、結晶欠陥(以下、転位という場合もある)の極めて少ない窒化物半導体を得ることができることを開示している。そして、得られる結晶欠陥の少ない窒化物半導体を基板とし、この窒化物半導体基板上に素子構造を形成してなる窒化物半導体レーザ素子は、1万時間以上の連続発振を達成することができるが開示されている。

20

## 【0003】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、窒化物半導体発光素子は、更なる出力、素子信頼性の向上が必要である。

## 【0004】

そこで、本発明は、従来例に比較してさらに出力と素子信頼性の高い窒化物半導体発光素子の製造方法を提供することを目的とする。

30

## 【0005】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は、以下の構成により前記目的を達成したものである。

すなわち、本発明に係る請求項1記載の窒化物半導体発光素子の製造方法は、少なくとも $Al$ を含む窒化物半導体からなるn型クラッド層と、 $In$ を含む窒化物半導体を有する活性層と、p型ガイド層と、 $Al$ を含む窒化物半導体からなるp型クラッド層とを順に積層した窒化物半導体発光素子の製造方法において、

前記活性層を形成後、前記p型クラッド層よりバンドギャップの大きく、かつ前記活性層との間に電位障壁を形成し、膜厚が10以上1000以下であるp型キャップ層を形成する工程を有しており、

前記p型キャップ層を形成する工程は、

40

$Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなる第1のp型窒化物半導体層を、前記p型クラッド層より低い温度で10～100の範囲の膜厚に成長させる第1工程と、

$Al_bGa_{1-b}N$  ( $0 < b < 1$ ) からなる第2のp型窒化物半導体層を、前記第1のp型窒化物半導体層の上に前記第1工程より高い温度で成長させる第2工程と、

を含むことを特徴とする。

本発明に係る請求項2記載の窒化物半導体発光素子の製造方法は、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法において、前記第2のp型窒化物半導体層は、前記第1のp型窒化物半導体層より結晶欠陥が少ないものである。

本発明に係る請求項3記載の窒化物半導体発光素子の製造方法は、請求項1又は2に記載の窒化物半導体発光素子の製造方法において、前記第2工程において、前記第2のp型

50

窒化物半導体層を、10以上300以下の厚さに成長させるものである。

本発明に係る請求項4記載の窒化物半導体発光素子の製造方法は、請求項1～3のうちのいすれか1つに記載の窒化物半導体発光素子の製造方法において、前記第1のp型窒化物半導体層は、 $A_{1-a}G_{a_{1-a}}N$  ( $0.1 < a < 1$ ) からなり、前記第2のp型窒化物半導体層は、 $A_{1-b}G_{a_{1-b}}N$  ( $0.1 < b < 1$ ) からなるものである。

#### 【0006】

また、本明細書では、以下のような窒化物半導体発光素子とその製造方法も開示する。

第1の窒化物半導体発光素子は、少なくともn型窒化物半導体からなるn型クラッド層、Inを含む窒化物半導体からなる活性層、及びp型窒化物半導体からなるp型クラッド層とを備えた窒化物半導体発光素子において、

前記活性層とp型クラッド層との間に、 $A_{1-a}G_{a_{1-a}}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなりかつ前記p型クラッド層よりエネルギーギャップの大きい第1のp型窒化物半導体層と、 $A_{1-b}G_{a_{1-b}}N$  ( $0 < b < 1$ ) からなる第2のp型窒化物半導体層を有することを特徴とする。

また、本発明の第1の窒化物半導体発光素子においては、前記第1のp型窒化物半導体層が、前記活性層に接して形成されていることが好ましい。

#### 【0007】

さらに、第1の窒化物半導体発光素子においては、前記第1の窒化物半導体層の膜厚が、10以上100以下の厚さであり、前記第2の窒化物半導体層の膜厚が、10以上300以下の厚さであることが好ましい。

#### 【0008】

また、第1の窒化物半導体発光素子においては、前記活性層が、 $In_cG_{a_{1-c}}N$  ( $0 < c < 1$ ) からなる井戸層を含む多重量子井戸構造としてもよい。

#### 【0009】

さらに、第1の窒化物半導体発光素子においては、前記活性層を、 $In_cG_{a_{1-c}}N$  ( $0 < c < 1$ ) からなる井戸層を含む層とし、前記p型クラッド層を $A_{1-x}G_{a_{1-x}}N$  ( $0 < x < 1$ ) とし、かつ前記 $A_{1-a}G_{a_{1-a}}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなる第1のp型窒化物半導体層と前記 $A_{1-b}G_{a_{1-b}}N$  ( $0 < b < 1$ ) からなる第2のp型窒化物半導体層とをそれぞれ、 $x-a$ ,  $x-b$ を満足するように組成が設定された層で構成することができる。

#### 【0010】

また、第2の窒化物半導体発光素子は、n型窒化物半導体からなるn型クラッド層とp型窒化物半導体からなるp型クラッド層との間にInを含む窒化物半導体からなる活性層を備えた窒化物半導体発光素子において、

前記活性層とp型クラッド層との間に前記p型クラッド層よりエネルギーギャップが大きい $A_{1-a}G_{a_{1-a}}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなりかつ前記クラッド層より低温で成長された第1のp型窒化物半導体層を備えたことを特徴とする。

#### 【0011】

このように、窒化物半導体発光素子において、前記活性層とp型クラッド層との間に前記p型クラッド層よりエネルギーギャップが大きい $A_{1-a}G_{a_{1-a}}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなり前記クラッド層より低温で成長された第1のp型窒化物半導体層を備えることにより、活性層の品質を良好に保つことができる。

すなわち、結晶性の良い $A_1GaN$ を成長させる成長条件の下では、Inを含む活性層が分解するが、本発明に係る第2の窒化物半導体素子では、まず、前記活性層と前記クラッド層との間に、前記クラッド層より低温で前記第1のp型窒化物半導体層を成長させて、その第1のp型窒化物半導体層で活性層の分解を防止しながら、結晶性の良いp型窒化物半導体層（前記クラッド層を含む）を形成することができるので、品質の良い活性層とその上に結晶性の良好なp型窒化物半導体層とを備えた発光素子を提供できる。

#### 【0012】

また、第2の窒化物半導体発光素子においては、活性層の分解を効果的に抑えるために

10

20

30

40

50

、前記第1のp型窒化物半導体層がN<sub>2</sub>ガスを用いた有機金属気相成長法で成長されていることが好ましい。

【0013】

また、第2の窒化物半導体発光素子においては、前記活性層を、In<sub>c</sub>Ga<sub>1-c</sub>N(0 < c < 1)からなる井戸層を含む多重量子井戸構造とすることができます。

【0014】

また、第2の窒化物半導体発光素子は、前記活性層をIn<sub>c</sub>Ga<sub>1-c</sub>N(0 < c < 1)からなる井戸層を含んだ層とし、前記p型クラッド層をAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0 < x < 1)からなる層とし、かつ前記Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N(0 < a < 1)からなる第1のp型窒化物半導体層を、x > aを満足するように組成を設定することにより構成できる。 10

【0015】

また、第3の窒化物半導体発光素子は、n型窒化物半導体からなるn型クラッド層とp型窒化物半導体からなるp型クラッド層との間にInを含む窒化物半導体からなる活性層を備え、かつ前記p型クラッド層と前記活性層との間に前記p型クラッド層よりバンドギャップの大きいAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N(0 < y < 1)からなるp型キャップ層が形成されてなる窒化物半導体発光素子であって、

前記p型キャップ層は、p型のAl<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N(0 < a < 1)からなる第1のp型窒化物半導体層と、該第1のp型窒化物半導体層上に形成されたp型のAl<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N(0 < b < 1)からなり前記第1のp型窒化物半導体層より結晶欠陥の少ない第2のp型窒化物半導体層とからなり、かつ前記p型キャップ層全体の厚さが10以上1000 20以下に設定されていることを特徴とする。

【0016】

このように、第3の窒化物半導体発光素子において、前記p型キャップ層を、Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N(0 < a < 1)からなり前記活性層に接して形成された第1のp型窒化物半導体層と、Al<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N(0 < b < 1)からなる結晶欠陥の少ない第2のp型窒化物半導体層とによって構成することにより、活性層にキャリアを閉じ込める機能を効果的に発揮させかつ活性層の品質を良好に保つことができる。

すなわち、結晶性の良いAl<sub>a</sub>Nを成長させる成長条件の下では、Inを含む活性層が分解するために、従来は該活性層が分解しないような条件でAl<sub>a</sub>N層を成長させていたので、Al<sub>a</sub>Nを用いた結晶性の良いp型キャップ層を形成することが困難であり、その機能を効果的に発揮させることができた。また、結晶性の良いAl<sub>a</sub>Nからなるキャリア閉じ込め層を形成しようとすると、活性層の分解が起こり発光特性の低下を招いていた。 30

【0017】

これに対して、第3の窒化物半導体素子では、まず、前記活性層に近い側に前記第1のp型窒化物半導体層を成長させて、その第1のp型窒化物半導体層で活性層の分解を防止しながら、結晶性の良い第2のp型窒化物半導体層を形成することができるので、品質の良い活性層と結晶性の良好なp型キャップ層とを備えた発光素子を提供できる。

すなわち、本発明の第3の窒化物半導体素子は、p型キャップ層を、活性層の分解を防止する第1のp型窒化物半導体層と、キャリアを効果的に活性層に閉じ込める第2のp型窒化物半導体層とに機能的に分離した複数の層で形成することにより、従来トレードオフの関係にあった問題点を解決したものである。 40

【0018】

また、第3の窒化物半導体素子において、前記第1のp型窒化物半導体層の膜厚は、10以上100以下に設定することが好ましい。この範囲に設定すると、活性層の分解を効果的に防止でき、かつp型キャップ層全体としての結晶性の劣化を少なくできる。

さらに、前記第2のp型窒化物半導体層の膜厚は、10以上300以下とすることが好ましい。このように設定すると、p型キャップ層全体としての結晶性を比較的良好に保つことができ、活性層に効果的に電子を閉じ込めることができる。

【0019】

また、第3の窒化物半導体素子において、前記活性層を  $In_c Ga_{1-c} N$  ( $0 < c < 1$ ) からなる井戸層を含む多重量子井戸構造とするとことができ、このようにすると多重量子井戸構造の活性層の優れた発光機能をより効果的に発揮させることができ。

#### 【0020】

すなわち、従来の窒化物半導体発光素子において、多重量子井戸構造の活性層を採用しても、ホール拡散長が短いこと、キャリア側のオフセットが十分でないためオーバーフローが発生し易いこと等により、多重量子井戸構造の活性層の機能を十分に発揮させることができないため、単一量子井戸構造に比較して期待されたほど素子特性を向上させることができなかった。

しかしながら、第3の窒化物半導体発光素子において、活性層を、 $In Ga N$  からなる井戸層を複数有する多重量子井戸構造として、かつ前記 p 型キャップ層を、第1の p 型窒化物半導体層と第2の p 型窒化物半導体層とによって構成することにより、多重量子井戸構造の活性層に効果的にキャリアを閉じ込めることができ、該井戸層へのキャリアの注入が良好にできる。10

これによって、多重量子井戸構造の活性層の特徴を十分な活用することができ、良好な発光特性を実現することができる。

#### 【0021】

窒化物半導体発光素子の第2の製造方法は、 $In$  を含む窒化物半導体からなる活性層上に、 $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる p 型キャップ層を成長させる工程を含む窒化物半導体発光素子の製造方法であって、20

前記 p 型キャップ層を成長させる工程は、

前記活性層上に窒素ガスを用いて有機金属気相成長法により、 $Al_a Ga_{1-a} N$  ( $0 < a < 1$ ) からなる第1の p 型窒化物半導体層を成長させる第1の成長工程と、

前記第1の p 型窒化物半導体層上に、水素ガスを用いて有機金属気相成長法により、 $Al_b Ga_{1-b} N$  ( $0 < b < 1$ ) からなる第2の p 型窒化物半導体層を成長させる第2の成長工程とを含み、

前記第1の p 型窒化物半導体層と第2の p 型窒化物半導体層とを有してなる前記 p 型キャップ層を 10 以上 1000 以下の厚さに成長させることを特徴とする。

#### 【0022】

以上の窒化物半導体発光素子の第2の製造方法では、第1の成長工程において前記活性層上に比較的低温で半導体層の成長が可能な窒素ガスを用いて前記第1の p 型窒化物半導体層を成長させているので、 $In$  を含む活性層を分解させることなく、 $Al_a Ga_{1-a} N$  ( $0 < a < 1$ ) 層を形成することができる。また、第2の成長工程において、前記第1の p 型窒化物半導体層上に、結晶性の良い $Al_b Ga_{1-b} N$  ( $0 < b < 1$ ) を成長させることができる水素ガスを用いて第2の p 型窒化物半導体層を成長させているので、前記第1の p 型窒化物半導体層により活性層の分解を防止しながら、結晶性の良い第2の p 型窒化物半導体層を成長させることができる。また、 $In$  含む活性層における  $In$  の面内分布に起因した素子間の発光特性のばらつきも抑制することができ、製造歩留まりを向上させることができる。さらに、第2の p 型窒化物半導体層を第1の p 型窒化物半導体層と異なる雰囲気で形成することにより、結晶成長形態の異なる層を形成することができ、機能分離できる。30

#### 【0023】

このように、窒化物半導体発光素子の第2の製造方法では、活性層の結晶品質を損なうことなく、 p 型キャップ層を形成することができるので、極めて発光特性に優れかつバラツキの少ない窒化物半導体発光素子を製造することができる。

#### 【0024】

また、窒化物半導体発光素子の第2の製造方法では、前記第2の成長工程における成長温度を、前記第1の成長工程における成長温度より高く設定することが好ましい。このようにすると、より結晶性の良い第2の p 型窒化物半導体層を成長させることができる。

#### 【0025】

50

20

30

40

50

また、窒化物半導体発光素子の第2の製造方法では、前記第1の成長工程における成長温度を、前記活性層を成長させる時の成長温度と実質的に同一に設定することが好ましい。このようにすると、Inを含む活性層からの分解をより効果的に防止することができ、前記活性層の結晶品質をより良好に保持できる。

#### 【0026】

また、窒化物半導体発光素子の第2の製造方法では、前記第1の成長工程において、前記第1のp型窒化物半導体層を10以上100以下の膜厚に成長させ、前記第2の成長工程において、前記第2のp型窒化物半導体層を10以上300以下の膜厚に成長させることが好ましい。

このように、前記第1のp型窒化物半導体層の膜厚が、10～100で、前記第2のp型窒化物半導体層の膜厚が10～300の範囲になるように成長させることにより、上述した第1のp型窒化物半導体層の成長において活性層を保護する機能と、第2のp型窒化物半導体層によるキャリア閉じ込め機能とを、いずれも良好に発揮させることができる。

#### 【0027】

なぜなら、比較的結晶性の悪い第1のp型窒化物半導体層を活性層を保護することができる最小限の膜厚に留めて、第1のp型窒化物半導体層を介して良好な結晶成長が可能な第2のp型窒化物半導体層を比較的厚く成長させることで、活性層との良好なオフセットが実現される。すなわち、前記膜厚の第1のp型窒化物半導体層だけでは、トンネル効果による電子の活性層からの流出が問題となるが、第2のp型窒化物半導体層があることで、活性層内への良好なキャリア閉じ込めを実現することができる。

#### 【0028】

さらに、窒化物半導体発光素子の第2の製造方法では、前記第1の成長工程における成長温度を、850以上950以下の温度に設定し、前記第2の成長工程の成長温度を950以上の温度に設定することが好ましい。

このような温度範囲に成長温度を設定することにより、上述した第1のp型窒化物半導体層による活性層の保護をより効果的に図れ、よりいっそう結晶性の良好な第2のp型窒化物半導体層を成長させることができる。

#### 【0029】

**【発明の実施の形態】**

本発明に係る実施の形態の窒化物半導体発光素子は、図1に示すように、Inを含む窒化物半導体からなる活性層6上に、p型の $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる活性層6にキャリアを閉じ込める機能を有するp型キャップ層7が形成された窒化物半導体発光素子であって、p型キャップ層7は、p型の $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなる第1のp型窒化物半導体層7aと、p型の $Al_bGa_{1-b}N$  ( $0 < b < 1$ ) からなる第2のp型窒化物半導体層7bとからなることを特徴とするものである。

#### 【0030】

このp型キャップ層7は、活性層6にキャリアを閉じ込めるための層として形成されるものであり、活性層6より大きいバンドギャップを有しあつ結晶性のよい層であることが必要とされる。これらの条件を満足する層を活性層に接して形成すると、活性層との間に良好な電位障壁（オフセット）が形成され効果的にキャリア閉じ込め機能を発揮させることができる。

しかしながら、本発明が適用されるInを含む活性層を備えた窒化物半導体発光素子では、p型キャップ層7として、バンドギャップの大きさが所望の値になるようにAlの含有量を調整したp型の $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) 層が主として用いられるが、以下のような問題点があった。

#### 【0031】

すなわち、結晶欠陥の少ない結晶性の良好な $AlGaN$ 層を成長させるためには、有機金属気相成長法を用いて $H_2$ 雰囲気で（ $H_2$ をキャリアガスとして）比較的高温で $AlGaN$ 層を成長させる必要があるが、 $AlGaN$ 層を $H_2$ 雰囲気中でInを含む活性層6上に

10

20

20

30

40

50

直接成長させようとすると活性層が分解するという問題点があった。このために、p型の  $A_{1-x}Ga_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる結晶性の良いp型キャップ層7を形成することができても、活性層6そのものを劣化させることになり、結局は期待したほどの発光特性を得ることは困難であった。H<sub>2</sub>雰囲気中におけるA<sub>1</sub>GaN層の成長温度を高くすると、成長されるA<sub>1</sub>GaN層の結晶性はさらに良好にできるが、Inを含む活性層の分解がより激しくなり、発光寿命を低下させる原因となっていた。尚、本明細書において、単にA<sub>1</sub>GaNというときは、GaNにおいてGaの一部がAlにより置換された窒化物半導体を言う。

#### 【0032】

本発明は、Inを含む活性層上に、H<sub>2</sub>雰囲気に代えN<sub>2</sub>雰囲気でかつ低温でA<sub>1</sub>GaN層を成長させると活性層を分解させることなくA<sub>1</sub>GaN層を形成することができることを見出し、その点に着目して完成させたものである。

10

すなわち、本発明に係る実施の形態の窒化物半導体発光素子は、Inを含む窒化物半導体からなる活性層6上に、N<sub>2</sub>雰囲気で予め活性層を分解させないように比較的薄いp型の  $A_{1-a}Ga_{1-a}N$  ( $0 < a < 1$ ) からなる第1のp型窒化物半導体層7aを、電子閉じ込め機能を劣化させない程度の厚さに形成し、その第1のp型窒化物半導体層7aによって活性層が分解しないように保護しながら、H<sub>2</sub>雰囲気でp型の  $A_{1-b}Ga_{1-b}N$  ( $0 < b < 1$ ) からなる第2のp型窒化物半導体層7bを形成するようにしたものである。

#### 【0033】

以下に、図1を用いて本発明の実施の形態について更に詳細に説明する。

20

図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体発光素子(窒化物半導体レーザ素子)を示す模式的断面図である。

図1の窒化物半導体レーザ素子は、サファイア等の窒化物半導体とは異なる異種基板100の上面にELOG成長させた窒化物半導体基板1上に、n型不純物(例えばSi)をドープしてなる  $A_{1-k}Ga_{1-k}N$  ( $0 < k < 1$ ) よりなるn型コンタクト層2、Siドープの  $In_gGa_{1-g}N$  ( $0.05 \leq g \leq 0.2$ ) よりなるクラック防止層3、  $A_{1-e}Ga_{1-e}N$  ( $0.12 \leq e < 0.15$ ) を含んでなる多層膜のn型クラッド層4、アンドープのGaNからなるn型ガイド層5、  $In_cGa_{1-c}N$  ( $0 \leq c < 1$ ) からなる多重量子井戸構造の活性層6、Mgドープの  $A_{1-d}Ga_{1-d}N$  ( $0 < d \leq 1$ ) からなる少なくとも2層以上のp型キャップ層7、アンドープのGaNからなるp型ガイド層8、  $A_{1-f}Ga_{1-f}N$  ( $0 < f \leq 1$ ) を含む多層膜からなるp型クラッド層9、MgドープのGaNからなるp型コンタクト層10を備え、p型コンタクト層10～n型コンタクト層2が所定の幅にエッチングされてリッジ形状のストライプ200が形成されてなる。

30

尚、p電極は、リッジ形状のストライプ200の最上層であるp型コンタクト層10に接するように形成され、リッジ形状のストライプ200の片側に露出させたn型コンタクト層2上に形成される。

#### 【0034】

以下、個々の要素について詳細に説明する。

##### (ELOG成長について)

ELOG成長とは、窒化物半導体の縦方向の成長を少なくとも部分的に一時的止めて、横方向の成長を利用して転位の発生を抑制しながら成長させることができる成長方法である。

40

具体的に、窒化物半導体と異なる材料からなる異種基板上に、窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい材料からなる保護膜を部分的に形成し、その上から窒化物半導体を成長させる。このようにすると、保護膜が形成されていない部分から窒化物半導体の成長が開始され、さらに成長を続けることにより保護膜上に横方向に成長するようになり、その結果、異種基板全体を覆う比較的厚膜の窒化物半導体が形成される。

#### 【0035】

異種基板としては、種々の基板を用いることができ、例えば、図2に示すC面、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル(MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)のような絶縁性基板、SiC(

50

6 H、4 H、3 Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。

#### 【0036】

前記の中で好ましい異種基板としては、サファイアであり、更に好ましくはサファイアのC面である。また、サファイアのC面がステップ状にオフアングルされ、オフアングル角(図3に示される)が0.1°~0.3°の範囲のものを用いると、ELOG成長して得られる窒化物半導体内部の微細なクラックの発生を防止でき、よりいっそう好ましい。オフアングル角が0.1°未満であるとELOG成長させた窒化物半導体の内部に微細なクラックが発生しやすくなる傾向があり、オフアングル角が0.1°以上であるとその上に構成されるレーザ素子の特性を安定させることができる。また、オフアングル角が0.3°を超えると、ELOG成長させた窒化物半導体の表面がステップ状になり、その上に素子を構成すると、各半導体層においてステップが若干強調され、素子のショート及びしきい値上昇を招き好ましくない。

#### 【0037】

前記のようなステップ状にオフアングルされたサファイア等の異種基板上に、保護膜を、直接又は一旦窒化物半導体を成長させてから、部分的(例えば、異種基板表面が一定間隔で露出するように)に形成する。

保護膜としては、保護膜表面に窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい性質を有する種々の材料を用いることができ、例えば酸化ケイ素(SiO<sub>x</sub>)、窒化ケイ素(Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>)、酸化チタン(TiO<sub>x</sub>)、酸化ジルコニウム(ZrO<sub>x</sub>)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜、さらには1200以上の融点を有する金属等を用いることができる。好ましい保護膜材料としては、SiO<sub>2</sub>及びSiNが挙げられる。

#### 【0038】

保護膜材料を窒化物半導体等の表面に形成する方法としては、例えば蒸着、スパッタ、CVD等の気相成膜技術を用いることができる。

また、部分的(選択的)に形成する方法として、フォトリソグラフィー技術を用いて所定の形状を有するフォトマスクを作製し、そのフォトマスクを介して、前記材料を気相成膜する方法を用いることができる。保護膜の形状は、特に限定されるものではないが、例えばドット、ストライプ、碁盤面状の形状で形成でき、好ましくはストライプ状の形状とし、そのストライプがオリエンテーションフラット面(サファイアのA面)に垂直になるように形成する。

#### 【0039】

また、異種基板の表面のうち、保護膜を形成する表面積の割合は、保護膜が形成されていない部分の表面積より大きくすることができます好ましく、このようにすると、成長させる窒化物半導体に発生する転位を防止することができ、良好な結晶性を有する窒化物半導体基板が得られる。

例えば、保護膜をストライプ形状に形成する場合の保護膜のストライプ幅は、保護膜が形成されていない部分(窓部)の幅を3とした時に、10以上になるようにすることが好ましい。この場合、保護膜のストライプ幅w1は、保護膜が形成されていない部分(窓部)の幅w2として、w1:w2=16~18:3を満足するように設定するがさらに好ましい。保護膜をストライプ形状に形成する場合、保護膜のストライプ幅と窓部の幅を前記の関係に設定すると、窒化物半導体が保護膜を覆い易くなり、且つ転位を効果的に防止することができる。保護膜のストライプ幅としては、例えば6~27μm、好ましくは11~24μmとして、窓部の幅としては、例えば2~5μm、好ましくは2~4μmとする。

#### 【0040】

また、ELOG成長して得られる窒化物半導体上に素子を構成し、p型窒化物半導体層にリッジ形状のストライプ200を形成する場合、リッジ形状のストライプ200が、ストライプ状の保護膜の上であり、かつその中心線(長手方向に平行な中心線)上を避けて形

10

20

30

40

50

成されていることが好ましく、このようにすると、しきい値を低下させることができ、素子の信頼性を向上させることができる。すなわち、保護膜上部に位置する窒化物半導体の結晶性が、窓部上部等に比較して良好であり、また、保護膜の中心線上付近は、窓部から成長した隣接する窒化物半導体同士が横方向の成長によって接合する部分でありこのようないくつかの接合箇所に空隙の生じる場合があり、この空隙の上部にリッジ形状のストライプ 200 が形成されると、レーザ素子の動作中に空隙から転位が伝播し易くなり、素子の信頼性を劣化させる恐れがあるからである。

#### 【0041】

また、保護膜は、異種基板に直接形成されてもよいが、異種基板上に低温成長のバッファ層 101 を形成させ、更にその上に高温成長の窒化物半導体からなるバッファ層 102 を成長させた上に、形成することが好ましく、このようにすると、転位の少ないより結晶性に優れた窒化物半導体基板を成長させることができる。

また、本発明に係る窒化物半導体発光素子を形成するために用いることができる基板は、上述した ELOG 成長させた窒化物半導体基板に限定されるものではない。本発明では、たとえば、サファイア基板の上にアンドープの GaN を数  $\mu\text{m}$  から数十  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させた下地層として成長させ、その上に素子を構成するようにしてもよい。

また、ELOG 成長に用いる低温成長のバッファ層 101 としては、例えば AlN、GaN、AlGaN、及び InGaN 等のいずれかを 900 以下 200 以上の温度で、膜厚数十オングストローム～数百オングストロームで成長させたものを用いることができる。これらのバッファ層は、異種基板と比較的高温で成長される窒化物半導体層との間の格子定数不整を緩和することができ、成長させる層における転位の発生を防止することができる。

#### 【0042】

高温成長の窒化物半導体からなるバッファ層 102 としては、アンドープの GaN、n 型不純物をドープした GaN、また Si をドープした GaN を用いることができ、好ましくはアンドープの GaN を用いる。またこれらの窒化物半導体は、高温、具体的には 900 ～ 1100 、好ましくは 1050 でバッファ層 101 上に成長される。本発明において、このバッファ層 102 の膜厚は特に限定されるものではないが、例えば 1 ～ 20  $\mu\text{m}$  、好ましくは 2 ～ 10  $\mu\text{m}$  とする。

#### 【0043】

次に保護膜を形成した上に、窒化物半導体を MOCVD 等により、ELOG 成長させて窒化物半導体基板 1 を得る。この場合、成長させる窒化物半導体としては、アンドープの GaN 又は不純物（例えば Si、Ge、Sn、Be、Zn、Mn、Cr、及び Mg）をドープした GaN を用いることができる。成長温度としては、例えば 900 ～ 1100 、より具体的には 1050 付近の温度で成長させる。不純物がドープされていると成長層における転位の発生を抑制することができ、好ましい。

#### 【0044】

この ELOG 成長では、成長初期において、成長速度をコントロールし易い MOCVD（有機金属化学気相成長法）等で成長させ、保護膜が ELOG 成長の窒化物半導体で覆われた後の成長を HVPE（ハライド気相成長法）等で成長させてよい。

以上のようにして、本実施の形態では、ELOG 成長により窒化物半導体基板 1 を異種基板上に形成する。

#### 【0045】

##### （窒化物半導体基板 1 上の各窒化物半導体層の形成）

本実施の形態では、まず、n 型コンタクト層 2 を窒化物半導体基板 1 上に成長させる。n 型コンタクト層 2 としては、n 型不純物（好ましくは Si）がドープされた  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$  ( $0 < a < 1$ ) を成長させる。n 型コンタクト層 2 として、好ましくは  $a$  が 0.01 ～ 0.05 に設定された  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$  を成長させる。n 型コンタクト層 2 を Al を含む 3 元混晶で形成すると、窒化物半導体基板 1 に微細なクラックが発生していても、微細なクラックの伝播を防止することができ、更に従来の問題点であった窒化物半導体基

10

20

30

40

50

板1とn型コンタクト層2との格子定数及び熱膨張係数の相違によるn型コンタクト層への微細なクラックの発生を防止することができ好ましい。n型不純物のドープ量は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とする。このn型コンタクト層2にはn電極21が形成される。n型コンタクト層2の膜厚は、1~10  $\mu\text{m}$ とする。

また、本実施の形態では、窒化物半導体基板1とn型コンタクト層2との間に、アンドープの $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$  ( $0 < a < 1$ )を成長させてもよく、このアンドープの層を成長させるとn型コンタクト層2の結晶性を良好とでき、寿命特性を向上させることができる。この場合、アンドープn型コンタクト層の膜厚は、数  $\mu\text{m}$ とする。

#### 【0046】

次に、クラック防止層3をn型コンタクト層2上に成長させる。クラック防止層3としては、Siドープの $\text{In}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$  ( $0.05 \leq g \leq 0.2$ )を成長させ、gが0.05~0.08に設定された $\text{In}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ を成長させることができが好ましい。このクラック防止層3をn型コンタクト層2上に形成すると、素子内のクラックの発生を防止することができ、好ましい。Siのドープ量としては、 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。しかしながら、本発明では、クラック防止層3を省略してもよい。

#### 【0047】

また、クラック防止層3を成長させる際に、Inの混晶比を大きく ( $\times 0.1$ ) することができ好ましく、このようにすると、クラック防止層3がn型クラッド層4から漏れ出した、活性層6で発生された光を吸収することができ、レーザ光のファーフィールドパターンの乱れを防止することができる。

このクラック防止層の膜厚は、例えば、0.05~0.3  $\mu\text{m}$ のそれ自身の結晶性が損なわれない程度の厚みとする。

#### 【0048】

次に、n型クラッド層4をクラック防止層3上に成長させる。n型クラッド層4は、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$  ( $0.12 \leq e < 0.15$ )を含む窒化半導体を有する多層膜の層として形成される。多層膜とは、互いに組成が異なる窒化物半導体層を積層した多層膜構造を示し、例えば、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$  ( $0.12 \leq e < 0.15$ )層と、この $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ と組成の異なる窒化物半導体、例えばAlの混晶比の異なるもの、Inを含んでなる3元混晶のもの、又はGaN等からなる層とを組み合わせて積層してなるものである。この中で好ましい組み合わせとしては、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ とGaNとを積層してなる多層膜である。このようにすると、同一温度で結晶性の良い窒化物半導体層が積層できる。より好ましい多層膜としては、アンドープの $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ とn型不純物(例えばSi)ドープのGaNとを組み合わせて積層したものである。この場合、n型不純物は、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ にドープされてもよい。n型不純物のドープ量は、 $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。n型不純物がこの範囲でドープされていると抵抗率を低くでき且つ結晶性を損なうことなくn型クラッド層4を形成することができる。

#### 【0049】

この多層膜は、単一層の膜厚が100 オングストローム以下、好ましくは70 オングストローム以下、さらに好ましくは40 オングストローム以下であって、好ましくは10 オングストローム以上の膜厚の窒化物半導体層を積層することにより構成する。単一の膜厚が100 オングストローム以下であるとn型クラッド層が超格子構造となり、Alを含有しているにもかかわらず、クラックの発生を防止でき結晶性を良好にことができる。また、n型クラッド層4の総膜厚は、0.7~2  $\mu\text{m}$ である。

#### 【0050】

またn型クラッド層の全体の平均組成は、その平均組成を $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ で表したときに、kを0.05~0.1とすることが好ましい。Alの含有率がこの範囲であると、クラックを発生させないように形成でき、且つ充分にレーザ導波路との屈折率の差を得ることができる。

次に、n型ガイド層5をn型クラッド層4上に成長させる。n型ガイド層5としては、アンドープのGaNからなる窒化物半導体を成長させる。n型ガイド層5の膜厚は、0.1

10

20

30

40

50

~0.07 μmに設定することが好ましく、このようにすると、しきい値を低下させることができる。

また、n型ガイド層4をアンドープとすることが好ましく、これによって、レーザ導波路内の伝搬損失を減少させることができ、かつしきい値を低くすることができる。

#### 【0051】

次に、活性層6をn型ガイド層5上に成長させる。本実施の形態において、活性層は、In<sub>c</sub>Ga<sub>1-c</sub>N (0 < c < 1) を含んでなる多重量子井戸構造を有する。活性層6において、井戸層は、c が 0.1 ~ 0.2 の In<sub>c</sub>Ga<sub>1-c</sub>N とし、障壁層は、c が 0 ~ 0.01 の In<sub>c</sub>Ga<sub>1-c</sub>N とする。

また活性層6を構成する井戸層及び障壁層のいずれか一方または両方に不純物をドープしてもよい。この場合、障壁層に不純物をドープさせると、しきい値を低下させることができ好ましい。

井戸層の膜厚としては、30 ~ 60 オングストロームであり、障壁層の膜厚としては、90 ~ 150 オングストロームである。

#### 【0052】

多重量子井戸構造の活性層6は、障壁層から始まり井戸層で終わっても、障壁層から始まり障壁層で終わっても、井戸層から始まり障壁層で終わっても、また井戸層から始まり井戸層で終わってもよい。好ましくは障壁層から始まり、井戸層と障壁層とのペアを2 ~ 5回繰り返してなるもの、好ましくは井戸層と障壁層とのペアを3回繰り返してなるものがしきい値を低くし寿命特性を向上させるのに好ましい。

#### 【0053】

次に、p型キャップ層7を活性層6上に成長させる。p型キャップ層7としては、MgドープのAl<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N (0 < d < 1) からなる少なくとも2層を成長させて構成する。このp型キャップ層7の混晶比は、好ましくはdが0.1以上0.5以下の範囲に設定する。本発明におけるp型キャップ層を構成する第1のp型窒化物半導体層、第2のp型窒化物半導体層については、上記範囲の混晶比が適用されるが、各層について詳しくは後述するとおりである。

また、p型キャップ層7全体の膜厚は、10 オングストローム以上1000 オングストローム以下、好ましくは20 オングストローム以上400 オングストローム以下に設定する。p型キャップ層7全体の膜厚をこのような範囲に設定するのは、次のような理由によるものである。

すなわち、p型キャップ層7をAl<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N層とした場合、キャリア閉じ込め機能を効果的に発揮させることができるが、Al<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N層はAlを含まない窒化ガリウム系半導体に比較してバルク抵抗が高いものである。従って、p型キャップ層を形成したことによる発光素子における抵抗値の上昇を抑える必要があるために、1000 オングストローム以下、好ましくは400 オングストローム以下に設定する。

また、このp型キャップ層7の本来の機能は、上述のキャリア閉じ込め機能であり、その機能を効果的に発揮させるために、その膜厚を10 オングストローム以上、好ましくは20 オングストローム以上に設定する。

従って、膜厚が上記範囲であると、活性層6内にキャリアを効果的に閉じ込めることができ、且つバルク抵抗も低く抑えることができる。

#### 【0054】

またp型キャップ層7のMgのドープ量は、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$  とする。ドープ量をこの範囲に設定すると、バルク抵抗を低下させることに加えて、後述のアンドープで成長させるp型ガイド層にMgが拡散され、比較的薄い層であるp型ガイド層8にMgを $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  の範囲で含有させることができる。

#### 【0055】

ここで特に、本実施の形態においてp型キャップ層7は、Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>Nからなる第1のp型窒化物半導体層7aと、その上にAl<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>Nからなる第2のp型窒化物

10

20

30

40

50

半導体層 7 b の 2 層で構成した。しかしながら、本発明はこれに限られるものではなく、2 以上の層としてもよく、また、例えば、第 2 の p 型窒化物半導体層 7 b を複数の層を積層することにより形成してもよい。

【 0 0 5 6 】

また、各層の Al 混晶比は特に限定されるものではない。しかし、 $Al_a Ga_{1-a} N$  層で表される第 1 の p 型窒化物半導体層 7 a においては、Al 混晶比 a は、0 以上であれば、活性層の分解を効果的に抑制することができる。この機能を発揮させるためには、好ましくは  $a > 0$  の  $Al_a Ga_{1-a} N$  層とすると、窒化物半導体の中でも比較的高融点で化学的に安定な層を、活性層に近い方に（好ましくは接する）設けることができ、活性層の分解をより効果的に抑制することができる。また、本発明においては、第 1 の p 型窒化物半導体層 7 a 及び第 2 の p 型窒化物半導体層 7 b の各 Al 混晶比 a、b を、好ましくは 0 . 1 より大きく、更に好ましくは 0 . 2 より大きくすることで、活性層との間に良好なオフセットをとる（電位障壁を形成する）ことができ、キャリアのオーバーフローのない良好なキャリア注入を実現することができる。この時、第 1 の p 型窒化物半導体層 7 a と第 2 の p 型窒化物半導体層 7 b とは、同一の組成、すなわち  $a = b$  とすることが好ましく、このような条件下では、製造において各ソースガス、不純物ガスの供給量の調整等が容易にできかつ制御性を高くできるので、第 1 の p 型窒化物半導体層及び第 2 の p 型窒化物半導体層を安定して、精度よく成長させることができる。

【 0 0 5 7 】

次に、第 1 の p 型窒化物半導体層 7 a、第 2 の p 型窒化物半導体層 7 b の成長条件について説明する。

成長温度としては、第 1 の p 型窒化物半導体層よりも高い温度で第 2 の p 型窒化物半導体層を成長させることができが好ましい。

特に、第 1 の p 型窒化物半導体層の具体的な成長温度は 850 ~ 950 度、活性層を成長させる温度と同様の温度に設定すると、In を含む活性層 6 の分解を防止することができ好ましい。

そして、第 2 の p 型窒化物半導体層の成長温度は、例えば活性層の成長温度より 100 度高いの温度に設定することが好ましく、これによりより良好な結晶性を有する Al Ga N 層を形成することができる。

【 0 0 5 8 】

さらに、第 1 の p 型窒化物半導体層と第 2 の p 型窒化物半導体層の成長時の雰囲気は、異なる雰囲気とすることが好ましい。すなわち、第 1 の p 型窒化物半導体は、活性層とほぼ同じ雰囲気で成長させることができが好ましく、こうすることで、活性層の分解を防しできる。また、第 2 の p 型窒化物半導体は、良好なオフセットを形成するために好ましい雰囲気で成長させる。このようにすると、2 つの層の結晶成長形態の違いにより、第 1 の p 型窒化物半導体層は活性層の分解を防ぐ層、第 2 の p 型窒化物半導体は良好なオフセットの実現を担う層とでき、各層にそれぞれ特有の機能を持たせることができる。具体的には、第 1 の p 型窒化物半導体層の成長雰囲気は  $N_2$  とし、第 2 の p 型窒化物半導体層の成長雰囲気は  $H_2$  とすることで、それぞれ上述の機能を有する層が形成できるため、得られる素子は良好な発光特性を有する。

【 0 0 5 9 】

また p 型キャップ層 7 を前記少なくとも 2 層から構成する場合の各層の膜厚は、p 型キャップ層を形成したことによる発光素子の  $V_f$ （順方向電圧）の上昇を小さく抑えるために、第 1 の p 型窒化物半導体層は 10 ~ 100 オングストロームの範囲、第 2 の p 型窒化物半導体層は 10 ~ 300 オングストロームの範囲に設定することができが好ましい。また、 $V_f$  の上昇をより小さく抑えるために、第 1 の p 型窒化物半導体層を 10 ~ 30 の範囲、第 2 の p 型窒化物半導体層を 10 ~ 100 オングストロームの範囲に設定することができが好ましい。

次に、p 型ガイド層 8 を p 型キャップ層 7 上に成長させる。p 型ガイド層 8 は、アンドープの GaN からなる窒化物半導体層を成長させて形成する。膜厚は 0 . 1 ~ 0 . 07  $\mu m$

10

20

30

40

50

とすることが好ましく、この範囲の膜厚にするとしきい値を低くすることができる。また上述のように、p型ガイド層8はアンドープ層として成長させるが、p型キャップ層7にドープされているMgが拡散して、 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲でMgが含有される。

#### 【0060】

次に、p型クラッド層9をp型ガイド層8上に成長させる。p型クラッド層9としては、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$  ( $0 < f < 1$ )を含んでなる窒化物半導体層、好ましくは $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$  ( $0.05 < f < 0.15$ )を含んでなる窒化物半導体層を有する多層膜層とすることが好ましい。多層膜とは、互いに組成が異なる窒化物半導体層を積層した多層膜構造を有する層であり、例えば、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ 層と、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ と組成の異なる窒化物半導体、例えばAlの混晶比の異なるもの、Inを含んでなる3元混晶のもの、又はGaN等からなる層とを組み合わせて積層してなるものである。この中で特に、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ とGaNとを組み合わせて積層した多層膜とすると、同一温度で結晶性の良い窒化物半導体層が積層できるので好ましい。より好ましい多層膜としは、アンドープの $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ とp型不純物(例えばMg)ドープのGaNとを積層してなる組み合わせである。p型不純物は、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ にドープされてもよい。p型不純物のドープ量は、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。p型不純物がこの範囲でドープされると結晶性を損なわない程度のドープ量で且つバルク抵抗を低くできる。

#### 【0061】

この多層膜において、単一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは40オングストローム以下とし、好ましくは10オングストローム以上の膜厚の窒化物半導体層を積層して構成する。単一の膜厚が100オングストローム以下であるとn型クラッド層が超格子構造となり、Alを含有しているにもかかわらず、クラックの発生を防止できn型クラッド層全体の結晶性を良好にすることができます。

p型クラッド層9の総膜厚としては、 $0.4 \sim 0.5 \mu\text{m}$ とすることが好ましく、この範囲に設定すると順方向電圧( $V_f$ )を低減することができる。

#### 【0062】

またp型クラッド層9の全体のAlの平均組成は、 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ で表したときに、sが $0.05 \sim 0.1$ の範囲に設定することが好ましく、このようにすると、クラックの発生を抑制し且フレーザ導波路との間に良好な屈折率差が得られる。

次に、p型コンタクト層10をp型クラッド層9上に成長させる。p型コンタクト層は、MgドープのGaNからなる窒化物半導体層を成長させた層である。膜厚は $10 \sim 200$ オングストロームに設定する。Mgのドープ量は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ とする。このよう膜厚とMgのドープ量を調整することにより、p型コンタクト層のキャリア濃度を高くでき、p電極との間に良好なオーミック接触を形成することができる。

#### 【0063】

本発明の素子において、リッジ形状のストライプ200は、p型コンタクト層から所定の深さまでエッチングすることにより形成する。本実施の形態では、例えば、図1に示すようなp型コンタクト層10からp型クラッド層9の途中までエッチングしてなるリッジ形状のストライプ200、又はp型コンタクト層10からn型コンタクト層2までエッチングしてなるリッジ形状のストライプ200などの種々のリッジ形状のストライプ200を適用することができる。

#### 【0064】

エッチングして形成されたリッジ形状のストライプ200の側面やその側面に連続した窒化物半導体層の平面に、例えば図1に示すように、レーザ導波路領域の屈折率より小さい値を有する絶縁膜62が形成されている。ストライプの側面等に形成される絶縁膜としては、例えば、屈折率が約 $1.6 \sim 2.3$ 付近の値を有する、Si、V、Zr、Nb、Hf

10

20

30

40

50

、 $T_a$ よりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物や、BN、AIN等が挙げられ、好ましくは、Zr及びHfの酸化物のいずれか1種以上の元素や、BNである。

#### 【0065】

さらにこの絶縁膜62を介してリッジ形状のストライプ200の最上層にあるp型コンタクト層10の表面にp電極が形成される。

エッティングして形成されるリッジ形状のストライプ200の幅としては、0.5~4μm、好ましくは1~3μmとする。リッジ形状のストライプ200の幅をこの範囲に設定すると、水平横モードを单一モードにできる。

また、p型クラッド層9とレーザ導波路領域との界面より深くエッティングをすることにより、リッジ形状のストライプ200を形成すると、アスペクト比を1に近づけることができる。 10

#### 【0066】

以上のように、リッジ形状のストライプ200のエッティング量や、ストライプ幅、さらにストライプの側面の絶縁膜の屈折率などを、单一モードのレーザ光が得られ、さらにアスペクト比を円形に近づけるように設定することが好ましく、レーザビームやレンズ設計を容易にできる。

また本発明の素子において、p電極やn電極等は従来公知の種々のものを適宜選択して用いることができる。 20

#### 【0067】

また、本発明は実施の形態で説明した層構成に限定されるものではなく、以下のような変形も可能である。

##### 変形例

実施の形態の窒化物半導体発光素子では、p型キャップ層7の一部として、活性層6の分解を防止する第1のp型窒化物半導体層7aを形成したが、本発明ではp型クラッド層7と活性層の間に少なくとも1つの第1のp型窒化物半導体層を形成するようにしてもよい。

すなわち、本発明に係る窒化物半導体発光素子において、p型クラッド層7と活性層の間に、p型クラッド層7の成長温度より低い成長温度でp型クラッド層よりバンドギャップの大きい第1のp型窒化物半導体層を形成するようにすると、活性層の結晶品質を良好に保ちかつ結晶性の良いp型クラッド層を形成することが可能となる。 30

また、この変形例において、第1のp型窒化物半導体層はバンドギャップをクラッド層より大きく設定しているので、一定のキャリア閉じ込め機能を発揮させることができる。

したがって、本変形例の窒化物半導体発光素子は、従来例に比較して、出力及び素子の信頼性を高くできる。

#### 【0068】

##### 【実施例】

以下に本発明の一実施の形態である実施例を示す。しかし本発明はこれに限定されない。また、本実施例はMOVPE(有機金属気相成長法)について示すものであるが、本発明の方法は、MOVPE法に限るものではなく、例えばHYPE(ハライド気相成長法)、MBE(分子線気相成長法)等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。 40

#### 【0069】

##### 【実施例1】

実施例1として、図1に示される本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を製造する。

異種基板として、図3に示すようにステップ状にオフアングルされたC面を主面とし、オフアングル角 = 0.15°、ステップ段差およそ20オングストローム、テラス幅Wおよそ800オングストロームであり、オリフラ面をA面とし、ステップがA面に垂直であるサファイア基板を用意する。 50

## 【0070】

このサファイア基板を反応容器内にセットし、温度を510にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板上にGaNよりなる低温成長のバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1050まで上昇させ、1050になつたら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープのGaNからなる高温成長のバッファ層を5μmの膜厚で成長させる。

## 【0071】

次に、高温成長のバッファ層を積層したウェーハ上にストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅18μm、窓部の幅3μmのSiO<sub>2</sub>よりなる保護膜を0.1μmの膜厚で形成する。保護膜のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向である。

10

保護膜形成後、ウェーハを反応容器に移し、1050にて、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる窒化物半導体層を15μmの膜厚で成長させ窒化物半導体基板1とする。

得られた窒化物半導体を窒化物半導体基板1として以下の素子構造を積層成長させる。

## 【0072】

(アンドープn型コンタクト層) [図1には図示されていない]

窒化物半導体基板1上に、1050で原料ガスにTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアガスを用いアンドープのAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型コンタクト層を1μmの膜厚で成長させる。

20

## 【0073】

(n型コンタクト層2)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアガスを用い、不純物ガスにシランガス(SiH<sub>4</sub>)を用い、Siを3×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型コンタクト層2を3μmの膜厚で成長させる。

成長されたn型コンタクト層2には、微細なクラックが発生しておらず、微細なクラックの発生が良好に防止されている。また、窒化物半導体基板1に微細なクラックが生じても、n型コンタクト層2を成長させることで微細なクラックの伝播を防止でき結晶性の良好な素子構造を成長することができる。結晶性の改善は、n型コンタクト層2のみの場合より、前記のようにアンドープn型コンタクト層を成長させることによりより良好となる。

30

## 【0074】

(クラック防止層3)

次に、温度を800にして、原料ガスにTMG、TMI(トリメチルインジウム)及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたIn<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nよりなるクラック防止層3を0.15μmの膜厚で成長させる。

## 【0075】

(n型クラッド層4)

40

次に、温度を1050にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>NよりなるA層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNよりなるB層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ160回繰り返してA層とB層の積層し、総膜厚8000オングストロームの多層膜(超格子構造)よりなるn型クラッド層4を成長させる。

## 【0076】

(n型ガイド層5)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるn型ガイド層を0.075μmの膜厚で成長させる。

50

## (活性層 6)

次に、温度を 800 にして、原料ガスに TMI、TMG 及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、キャリアガスとして N<sub>2</sub> を用い、反応容器内を N<sub>2</sub> 霧囲気として、Si を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N よりなる障壁層を 100 オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープの In<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N よりなる井戸層を 50 オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を 3 回繰り返し、最後に障壁層を積層した総膜厚 550 オングストロームの多重量子井戸構造 (MQW) の活性層 6 を成長させる。

## 【0077】

## (p型キャップ層 7)

10

次に、同様の温度、同様の霧囲気 (N<sub>2</sub>) で、原料ガスに TMA、TMG 及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp<sub>2</sub>Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N よりなる第 1 の p 型窒化物半導体層 7a を、膜厚 20 で成長させる。次に、キャリアガスを H<sub>2</sub> にして、H<sub>2</sub> 霧囲気とし、960 まで上昇させた後、同様にして Mg を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N よりなる第 2 の p 型窒化物半導体層 7b を、膜厚 70 で成長させる。この第 1 の p 型窒化物半導体層と、第 2 の p 型窒化物半導体層とでもって、p 型キャップ層 7 とし、層膜厚 90 で形成する。

## 【0078】

## (p型ガイド層 8)

20

次に、温度を 1050 にして、原料ガスに TMG 及びアンモニアを用い、アンドープの GaN よりなる p 型ガイド層 8 を 0.075 μm の膜厚で成長させる。

この p 型ガイド層 8 は、アンドープとして成長させるが、p 型キャップ層 7 からの Mg の拡散により、Mg 濃度が  $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  となり p 型を示す。

## 【0079】

## (p型クラッド層 9)

次に、同様の温度で、原料ガスに TMA、TMG 及びアンモニアを用い、アンドープの Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N よりなる A 層を 25 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMA を止め、不純物ガスとして Cp<sub>2</sub>Mg を用い、Mg を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした GaN よりなる B 層を 25 オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ 100 回繰り返して A 層と B 層の積層し、総膜厚 5000 オングストロームの多層膜 (超格子構造) よりなる p 型クラッド層 9 を成長させる。

30

## 【0080】

## (p型コンタクト層 10)

次に、同様の温度で、原料ガスに TMG 及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp<sub>2</sub>Mg を用い、Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした GaN よりなる p 型コンタクト層 10 を 150 オングストロームの膜厚で成長させる。

反応終了後、反応容器内において、ウエハを窒素霧囲気中、700 でアニーリングを行い、p 型層を更に低抵抗化する。

アニーリング後、ウエハを反応容器から取り出し、最上層の p 側コンタクト層の表面に SiO<sub>2</sub> よりなる保護膜を形成して、RIE (反応性イオンエッ칭) を用い SiCl<sub>4</sub> ガスによりエッ칭し、図 4 に示すように、n 電極を形成すべき n 側コンタクト層 2 の表面を露出させる。

40

## 【0081】

次に図 4 (a) に示すように、最上層の p 側コンタクト層 10 のほぼ全面に、PVD 装置により、Si 酸化物 (主として、SiO<sub>2</sub>) よりなる第 1 の保護膜 61 を 0.5 μm の膜厚で形成した後、第 1 の保護膜 61 の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトレジストによりなる第 3 の保護膜 63 を、ストライプ幅 1.8 μm、厚さ 1 μm で形成する。

次に、図 4 (b) に示すように第 3 の保護膜 63 形成後、RIE (反応性イオンエッ칭) 装置により、CF<sub>4</sub> ガスを用い、第 3 の保護膜 63 をマスクとして、前記第 1 の保護

50

膜をエッティングして、ストライプ状とする。その後エッティング液で処理してフォトレジストのみを除去することにより、図4(c)に示すようにp側コンタクト層10の上にストライプ幅1.8μmの第1の保護膜61が形成できる。

#### 【0082】

さらに、図4(d)に示すように、ストライプ状の第1の保護膜61形成後、再度RIEによりSiCl<sub>4</sub>ガスを用いて、p側コンタクト層10、およびp側クラッド層9をエッティングして、ストライプ幅1.8μmのリッジ形状のストライプ200を形成する。但し、リッジ形状のストライプ200は、図1に示すように、ELOG成長を行う際に形成した保護膜の上部で且つ保護膜の中心部分を避けるように形成される。

#### 【0083】

リッジストライプ形成後、ウェーハをPVD装置に移送し、図4(e)に示すように、Zr酸化物(主としてZrO<sub>2</sub>)よりなる第2の保護膜62を、第1の保護膜61の上と、エッティングにより露出されたp側クラッド層9の上に0.5μmの膜厚で連続して形成する。このようにZr酸化物を形成すると、p-n面の絶縁をとるためと、横モードの安定を図ることができ好ましい。

次に、ウェーハをフッ酸に浸漬し、図4(f)に示すように、第1の保護膜61をリフトオフ法により除去する。

#### 【0084】

次に図4(g)に示すように、p側コンタクト層10の上の第1の保護膜61が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極20を形成する。但し p電極20は100μmのストライプ幅として、この図に示すように、第2の保護膜62の上に渡って形成する。

第2の保護膜62形成後、図1に示されるように露出させたn側コンタクト層2の表面にはTi/Alよりなるn電極21をストライプと平行な方向で形成する。

#### 【0085】

以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)に共振器を作製する。共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断して図1に示すようなレーザ素子とする。なお共振器長は300~500μmとすることが望ましい。

得られたレーザ素子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ディングして、室温でレーザ発振を試みた。

#### 【0086】

その結果、室温においてしきい値2.5kA/cm<sup>2</sup>、しきい値電圧5Vで、発振波長400nmの連続発振が確認され、室温で1万時間以上の寿命を示す。

更には、30mW駆動時において、比較例1に比べてVfが0.5Vも大きく低下した。このことは、前記p型キャップ層が、上述した2層構造を少なくとも有することで、Itの上昇がなく、素子寿命を向上させることを示す結果となった。なお、2.0mA時では、Vfは0.1~0.2V程度の低下を示すが、本発明の発光素子は、高出力時に従来のものから大きくその素子特性が向上していることがわかる。

#### 【0087】

##### [比較例1]

実施例1において、p型キャップ層7を以下のように1層から構成させる他は同様にして窒化物半導体レーザ素子を作製する。

##### (p型キャップ層7)

活性層を成長させた後、同温度(800)、同雰囲気(N<sub>2</sub>雰囲気)にて、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを5×10<sup>-8</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなるp型キャップ層7を、膜厚100で成長させる。

10

20

30

40

50

得られたレーザ素子は、実施例1と比べて、 $V_f$ が高く、素子寿命も劣るものであった。

【0088】

[実施例2]

キャリアガスにN<sub>2</sub>、原料ガスにTMA、TMG、アンモニア、不純物ガスにCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、温度800で、すなわち、活性層成長時とほぼ同様の温度、同様の雰囲気で、膜厚30のMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなる第1のp型窒化物半導体層7aを成長させ、キャリアガスをH<sub>2</sub>にして水素雰囲気下で、960に昇温した後、膜厚100でMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nを成長させ、この2層でp型キャップ層を形成する他は、実施例1と同様にして、レーザ素子を形成する。得られるレーザ素子は、実施例1とほぼ同様に良好な素子信頼性を有するものであり、出力特性に関しても同程度の $V_f$ で、閾値電流 $I_{th}$ の上昇もなく、高出力での連続発振が可能な素子であった。  
10

【0089】

また、上記第1のp型窒化物半導体層、第2のp型窒化物半導体層の膜厚を、それぞれ100、100、更にはそれぞれ100、400として、素子特性の変化を調べる。各層の膜厚が100では、素子特性に大きな変化はないものの、 $V_f$ の上昇が現れ始め、出力特性が僅かに劣る傾向を示し、それぞれの膜厚が100、400では、その傾向が顕著となり、膜厚が増えたことによる $V_f$ の上昇、これによる閾値電流の上昇が観測された。  
20

【0090】

[実施例3]

第1のp型窒化物半導体層の組成をAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nとする他は、実施例1と同様にして、レーザ素子を形成する。得られるレーザ素子は、実施例1とほぼ同程度の出力特性を有し、これは第1のp型窒化物半導体層が活性層との電位障壁をとること、電子閉じ込めることに、第2のp型窒化物半導体層ほど寄与していないことを示すものであり、それよりも、上層の第2のp型窒化物半導体層の良好な結晶成長、活性層の保護への寄与が大きいことを示すものである。このため、素子信頼性、特に素子寿命についても、実施例1とほぼ同様に、良好な寿命特性を示すものであった。  
30

【0091】

[実施例4]

図5を元に実施例5について説明する。

サファイア(C面)よりなる基板100をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

(バッファ層101)

続いて、温度を510まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板100上にGaNよりなるバッファ層101を約150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0092】

(アンドープGaN層103)

バッファ層101成長後、TMGのみ止めて、温度を1050まで上昇させる。1050になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層103を1.5μmの膜厚で成長させる。  
40

【0093】

(n型コンタクト層104)

続いて1050で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn型コンタクト層104を2.25μmの膜厚で成長させる。

【0094】

(n型クラッド層105)

次にシランガスのみを止め、1050度で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を75オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaN層を25オングストロームの膜厚で成長させる。このようにして、75オングストロームのアンドープGaN層からなるA層と、SiドープGaN層を有する25オングストロームのB層とからなるペアを成長させる。そしてペアを25層積層して2500オングストローム厚として、超格子構造の多層膜よりなるn型第1多層膜層5を成長させる。

## 【0095】

(n型バッファ層106)

次に、同様の温度で、アンドープGaNよりなる第1の層を40オングストローム成長させ、次に温度を800にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nよりなる第2の層を20オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第2の層+第1の層の順で交互に10層づつ積層させ、最後にGaNよりなる第2の層を40オングストローム成長した超格子構造の多層膜よりなるn型バッファ層106を640オングストロームの膜厚で成長させる。

## 【0096】

(活性層107)

次に、キャリアガスをN<sub>2</sub>に代えて窒素雰囲気として、アンドープGaNよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層、交互に積層して、総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層107を成長させる。

## 【0097】

(p型キャップ層108)

活性層と同様に、キャリアガスとしてN<sub>2</sub>を用い活性層成長時とほぼ同様な雰囲気、温度の下、原料ガスとしてTMA、TMG、アンモニア、不純物ガスにCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、膜厚20オングストロームのMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなる第1のp型窒化物半導体層7aを成長させ、キャリアガスをH<sub>2</sub>に代えて水素雰囲気下で、960に昇温した後、膜厚60オングストロームでMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nを成長させ、この2層で膜厚80オングストロームのp型キャップ層を形成する。

## 【0098】

(p型多層膜クラッド層109)

次に、温度1050度でTMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800にして、TMG、TMI、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用いMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nよりなる第2の層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第1+第2の順で交互に5層づつ積層し、最後に第1の層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp型多層膜クラッド層109を365オングストロームの膜厚で成長させる。

## 【0099】

(p型GaNコンタクト層110)

続いて1050度で、TMG、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp型コンタクト層110を700オングストロームの膜厚で成長させる。

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700度でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層110の

10

20

30

40

50

表面に所定の形状のマスクを形成し、R I E (反応性イオンエッティング) 装置でp型コンタクト層側からエッティングを行い、図5に示すようにn型コンタクト層104の表面を露出させる。

【0100】

エッティング後、最上層にあるp型コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極111と、そのp電極111の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極(図示せず)を0.5μmの膜厚で形成する。一方、エッティングにより露出させたn型コンタクト層104の表面にはWとAlを含むn電極112を形成してLED素子とした。

このLED素子は順方向電流20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、Vfは3.5Vであった。このように、LED素子についても、良好なVfを示し、また素子寿命についてもレーザ素子と同様に、p型キャップ層が比較例1,2のような構造にあるLED素子に比べて、Vfの上昇が抑えられ高出力で、且つ良好な第2のp型窒化物半導体の成長に支えられ素子信頼性の高いものである。

【0101】

【比較例2】

p型キャップ層として、キャリアガスをH<sub>2</sub>として水素雰囲気下で、温度960で、Mgを1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nを膜厚70で形成する他は、実施例1と同様にしてレーザ素子を得た。得られたレーザ素子は、実施例1に比べて、Vfは少し高くなるものの発振に大きな違いが出るほどではなかったが、素子寿命が極めて悪く、1万時間には遠く及ぶものではなく、素子断面を観察したところ、成長時乃至は駆動時に活性層が分解したことによるところが多きことがわかった。

【0102】

【発明の効果】

本発明は、第1のp型窒化物半導体層が活性層の分解、特にInの蒸発・分離を防止し、第2のp型窒化物半導体層が良好な結晶性でもって形成されるため、活性層との良好なオフセットをとることができ、結果として得られる発光素子は、Vfの低下、素子寿命の向上、の向上した素子が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を示す模式的断面図である。

【図2】図2は、サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

【図3】図3は、オフアングルした異種基板の部分的な形状を示す模式的断面図である。

【図4】図4は、リッジ形状のストライプ200を形成する一実施の形態である方法の各工程におけるウエハの部分的な構造を示す模式的断面図である。

【図5】本発明に係る実施例5のLED素子の模式的断面図である。

【符号の説明】

1・・・窒化物半導体基板、

2・・・n型コンタクト層、

3・・・クラック防止層、

4・・・n型クラッド層、

5・・・n型ガイド層、

6・・・活性層、

7a・・・第1のp型窒化物半導体層、

7b・・・第2のp型窒化物半導体層、

7・・・p型キャップ層、

8・・・p型ガイド層、

9・・・p型クラッド層、

10・・・p型コンタクト層。

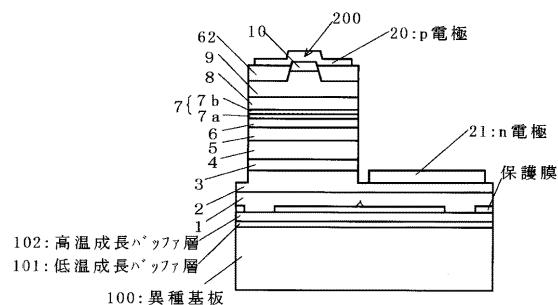
10

20

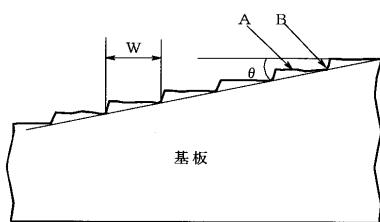
30

40

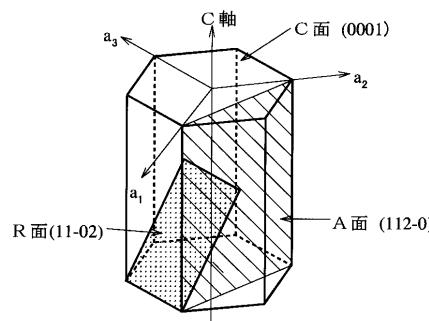
【図1】



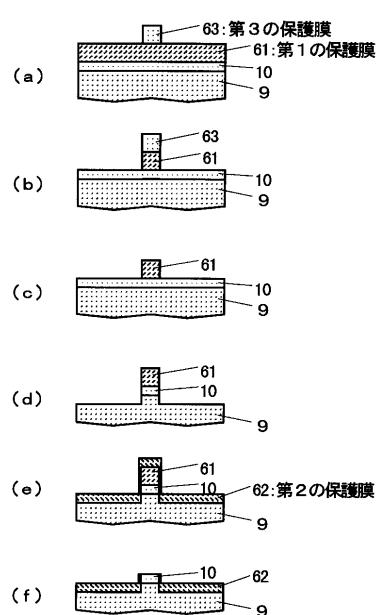
【図3】



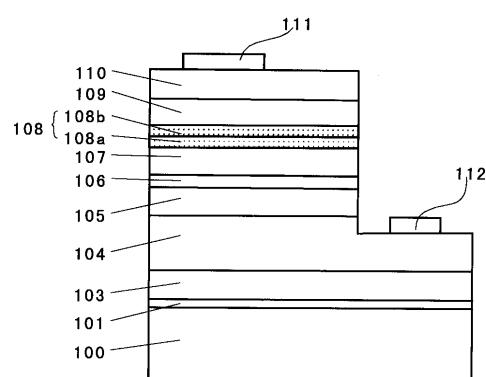
【図2】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

合議体

審判長 吉野 公夫

審判官 田部 元史

審判官 江成 克己

(56)参考文献 特開平10-290027 (JP, A)

Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35 (1996) pp. L74 - L76

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50