

(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 I

HO 1 S 5/343 (2006.01)

HO 1 L 21/205 (2006.01)

HO 1 L 33/32 (2010.01)

HO 1 S 5/343 6 1 0

HO 1 L 21/205

HO 1 L 33/00 1 8 6

請求項の数 4 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2003-98976 (P2003-98976)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成15年4月2日 (2003.4.2)		日亜化学工業株式会社
(62) 分割の表示	特願平11-157646の分割		徳島県阿南市上中町岡491番地100
原出願日	平成11年6月4日 (1999.6.4)	(74) 代理人	100100158
(65) 公開番号	特開2003-283057 (P2003-283057A)		弁理士 鮫島 睦
(43) 公開日	平成15年10月3日 (2003.10.3)	(74) 代理人	100068526
審査請求日	平成18年5月23日 (2006.5.23)		弁理士 田村 恭生
審判番号	不服2009-17616 (P2009-17616/J1)	(74) 代理人	100138863
審判請求日	平成21年9月18日 (2009.9.18)		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 A1 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、 A1 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、

$A_{1-a}Ga_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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、

$A_{1-b}Ga_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) 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。

10

20

【請求項 4】

前記第 1 の p 型窒化物半導体層は、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a < 1$) からなり、前記第 2 の p 型窒化物半導体層は、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) 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 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 < x, 0 < y, x+y < 1$) 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ことが開示されている。

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。

【0005】

30

【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 nm 以上 100 nm 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

$\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a < 1$) 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 100 nm ~ 1000 nm の範囲の膜厚に成長させる第 1 工程と、

$\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) 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 のうちのいずれか 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、 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) からなり、前記第 2 の p 型窒化物半導体層は、 $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) 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、 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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、 $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) 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、 $In_cGa_{1-c}N$ ($0 < c < 1$) 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、 $In_cGa_{1-c}N$ ($0 < c < 1$) からなる井戸層を含む層とし、前記 p 型クラッド層を $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) とし、かつ前記 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) からなる第 1 の p 型窒化物半導体層と前記 $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) 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 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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 $AlGaIn$ 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

、前記第1のp型窒化物半導体層が N_2 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、 $In_cGa_{1-c}N$ ($0 < c < 1$) からなる井戸層を含む多重量子井戸構造とすることができる。

【0014】

また、第2の窒化物半導体発光素子は、前記活性層を $In_cGa_{1-c}N$ ($0 < c < 1$) からなる井戸層を含んだ層とし、前記p型クラッド層を $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) からなる層とし、かつ前記 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) からなる第1のp型窒化物半導体層を、 $x > a$ 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 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < y < 1$) 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 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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 $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) 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100Å以上1000Å以下に設定されていることを特徴とする。

20

【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、 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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、 $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$) 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 $AlGaIn$ 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 $AlGaIn$ 層を成長させていたので、 $AlGaIn$ 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困難であった。また、結晶性の良い $AlGaIn$ 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、100Å以上1000Å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、100Å以上300Å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】

50

また、第3の窒化物半導体素子において、前記活性層を $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ ($0 < c < 1$) 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、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る。

【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、 InGaN 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、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) 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、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a < 1$) 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、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) 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、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a < 1$) 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 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 1$) 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 を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

40

【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

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 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) からなり活性層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か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AlGa_{0.5}N層を成長させるためには、有機金属気相成長法を用いてH₂雰囲気中で（H₂をキャリアガスとして）比較的高温でAlGa_{0.5}N層を成長させる必要があるが、AlGa_{0.5}N層をH₂雰囲気中でInを含む活性層6上に

10

20

30

40

50

直接成長させようとする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 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) 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_2 雰囲気中における $AlGaIn$ 層の成長温度を高くすると、成長される $AlGaIn$ 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 $AlGaIn$ 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_2 雰囲気に代え N_2 雰囲気でかつ低温で $AlGaIn$ 層を成長させると活性層を分解させることなく $AlGaIn$ 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。

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_2 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 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 1$) 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_2 雰囲気で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。

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 ）をドーピングしてなる $Al_kGa_{1-k}N$ ($0 < k < 1$) よりなるn型コンタクト層2、 Si ドーピングの $In_gGa_{1-g}N$ ($0.05 < g < 0.2$) よりなるクラック防止層3、 $Al_eGa_{1-e}N$ ($0.12 < e < 0.15$) を含んでなる多層膜のn型クラッド層4、アンドーピングの GaN からなるn型ガイド層5、 $In_cGa_{1-c}N$ ($0 < c < 1$) からなる多重量子井戸構造の活性層6、 Mg ドーピングの $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 1$) からなる少なくとも2層以上のp型キャップ層7、アンドーピングの GaN からなるp型ガイド層8、 $Al_fGa_{1-f}N$ ($0 < f < 1$) を含む多層膜からなるp型クラッド層9、 Mg ドーピングの 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。

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。

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（ $MgAl_2O_4$ ）のような絶縁性基板、 SiC （

10

20

30

40

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 $0.1^{\circ} \sim 0.3^{\circ}$ の範囲のものをを用いると、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
10
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_x)、窒化ケイ素(Si_xN_y)、酸化チタン(TiO_x)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)等の酸化物、窒化物、
20
またこれらの多層膜、さらには 1200°C 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_2 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
30
、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 w_1 は、保護膜が形成されていない部分(窓部)の幅 w_2 として、 $w_1:w_2 = 16 \sim 18:3$ を満足するように設定することがさらに好ましい。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係数に設定すると、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 $6 \sim 27 \mu\text{m}$ 、好ましくは $11 \sim 24 \mu\text{m}$ として、窓部の幅としては、例えば $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 、好ましくは $2 \sim 4 \mu\text{m}$ とする。
40

【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
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。

10

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 μm から数十 μm 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。

20

【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型不純物をドーブしたGaN、またSiをドーブした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 μm 、好ましくは2～10 μm とする。

【0043】

30

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）をドーブした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。不純物がドーブ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）等で成長させてもよい。

40

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）がドーブされた $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ （ $0 < a < 1$ ）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

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 型不純物のドーピング量は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 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、 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 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 $\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_a\text{N}$ ($0 < a < 1$) 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 μm 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 $0.05 \sim 0.08$ 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 のドーピング量としては、 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 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 ($x \geq 0.1$) することが好ましく、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、 $0.05 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 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、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ ($0.12 \leq e < 0.15$) を含む窒化物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 を含んでなる三元混晶のもの、又は GaN 等からなる層とを組み合わせる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 とを組み合わせる積層したものである。この場合、n 型不純物は、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ にドーピングされてもよい。n 型不純物のドーピング量は、 $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。n 型不純物がこの範囲でドーピング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することができる。また、n 型クラッド層 4 の総膜厚は、 $0.7 \sim 2 \mu\text{m}$ 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 $0.05 \sim 0.1$ 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、且つ十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、 $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ ($0 < c < 1$) 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 $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ とし、障壁層は、 c が 0 ～ 0.01 の $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ 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ピングしてもよい。この場合、障壁層に不純物をドーピングさせると、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 $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d < 1$) 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 AlGaIn 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、 AlGaIn 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 のドーピング量は、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ とする。ドーピング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、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ からなる第 1 の p 型窒化物半導体層 7a と、その上に $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ からなる第 2 の p 型窒化物

10

20

30

40

50

半導体層 7b 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 7b を複数の層を積層することにより形成してもよい。

【0056】

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、 $Al_aGa_{1-a}N$ 層で表される第 1 の p 型窒化物半導体層 7a 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 $Al_aGa_{1-a}N$ 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 7a 及び第 2 の p 型窒化物半導体層 7b 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 7a と第 2 の p 型窒化物半導体層 7b 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。

10

【0057】

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

20

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 程度、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る。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 程度高い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 $AlGaIn$ 層を形成することができる。

【0058】

30

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好ましく、こうすることで、活性層の分解を防じできる。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も成長させる。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。

40

【0059】

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さらに好ましい。

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、アンドーブの 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 μm

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にドーピングされている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で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とを組み合わせで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ては、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）ドーピングのGaNとを積層してなる組み合わせである。p型不純物は、 $\text{Al}_f \text{Ga}_{1-f} \text{N}$ にドーピングされてもよい。p型不純物のドーピング量は、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。p型不純物がこの範囲でドーピングされていると結晶性を損なわない程度のドーピング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る。

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つ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ドーピングの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10～200オングストロームに設定する。Mgのドーピング量は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ とする。このよう膜厚とMgのドーピング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1.6～2.3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、B N、A l N等が挙げられ、好ましくは、Z r及びH fの酸化物のいずれか１種以上の元素や、B Nである。

【 0 0 6 5 】

さらにこの絶縁膜 6 2 を介してリッジ形状のストライプ 2 0 0 の最上層にある p 型コンタクト層 1 0 の表面に p 電極が形成される。

エッチングして形成されるリッジ形状のストライプ 2 0 0 の幅としては、0 . 5 ~ 4 μ m、好ましくは 1 ~ 3 μ m とする。リッジ形状のストライプ 2 0 0 の幅をこの範囲に設定すると、水平横モードを単一モードにできる。

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チングをすることにより、リッジ形状のストライプ 2 0 0 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ので好ましい。

【 0 0 6 6 】

以上のように、リッジ形状のストライプ 2 0 0 のエッチング量や、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、単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。

【 0 0 6 7 】

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 7 a 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。

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。

【 0 0 6 8 】

【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 HVPE（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。

【 0 0 6 9 】

〔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 . 1 5 °、ステップ段差およそ 2 0 オングストローム、テラス幅 W およそ 8 0 0 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。

10

20

30

40

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になったら、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SiO₂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_{0.05}Ga_{0.95}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（SiH₄）を用い、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.05}Ga_{0.95}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いても、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させることができる。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 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.08}Ga_{0.92}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_{0.14}Ga_{0.86}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 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 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_2 を用い、反応容器内を N_2 雰囲気として、 Si を $5 \times 10^{18} / cm^3$ ドープした $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ 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 $In_{0.11}Ga_{0.89}N$ 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)

次に、同様の温度、同様の雰囲気 (N_2) 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_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、 Mg を $1 \times 10^{19} / cm^3$ ドープした $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 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_2 にして、 H_2 雰囲気とし、960 まで上昇させた後、同様に Mg を $1 \times 10^{19} / cm^3$ ドープした $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 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)

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 $5 \times 10^{16} / cm^3$ 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 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 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_2Mg を用い、 Mg を $5 \times 10^{18} / cm^3$ 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。

【 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_2Mg を用い、 Mg を $1 \times 10^{20} / cm^3$ 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、ウエハを窒素雰囲気中、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_2 よりなる保護膜を形成して、RIE (反応性イオンエッチング) を用い $SiCl_4$ ガスによりエッチングし、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。

【 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_2) 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 (反応性イオンエッチング) 装置により、 CF_4 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

10

20

30

40

50

膜をエッチングして、ストライプ状とする。その後エッチ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1.8 μm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SiCl₄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をエッチングして、ストライプ幅1.8 μm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ZrO₂)よりなる第2の保護膜62を、第1の保護膜61の上と、エッチングにより露出されたp側クラッド層9の上に0.5 μm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100 μm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70 μm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SiO₂とTiO₂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300~500 μm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2.5 kA/cm²、しきい値電圧5 Vで、発振波長400 nm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、30 mW駆動時において、比較例1に比べてV_fが0.5 V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、I_{th}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、2.0 mA時では、V_fは0.1~0.2 V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(N₂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Cp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを5×10⁻⁸/cm³ドーピングしたAl_{0.4}Ga_{0.6}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_2 、原料ガスに TMA、TMG、アンモニア、不純物ガスに Cp_2Mg (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 $1 \times 10^{19} / cm^3$ ドープした $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 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_2 にして水素雰囲気下で、960 に昇温した後、膜厚 100 で Mg を $1 \times 10^{19} / cm^3$ ドープした $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 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 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 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 $1.5 \mu m$ 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 $4.5 \times 10^{18} / cm^3$ ドープした GaN よりなる n 型コンタクト層 104 を $2.25 \mu m$ の膜厚で成長させる。

【0094】

(n 型クラッド層 105)

50

次にシランガスのみを止め、1050 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 $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ 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 層ずつ積層させ、最後に GaN よりなる第 2 の層を 40 オングストローム成長させ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_2 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 $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 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_2 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_2Mg (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 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 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_2 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 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 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 で TMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg (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 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 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_2Mg を用い Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 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 層ずつ積層し、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 で、TMG、アンモニア、 Cp_2Mg 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 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（反応性イオンエッチング）装置でp型コンタクト層側からエッチングを行い、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】

エッチング後、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、エッチ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H₂として水素雰囲気下で、温度960℃で、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.2}Ga_{0.8}Nを膜厚70nm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。

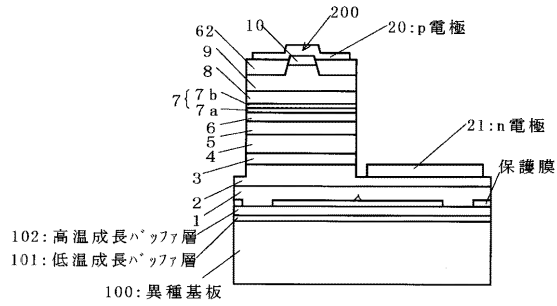
10

20

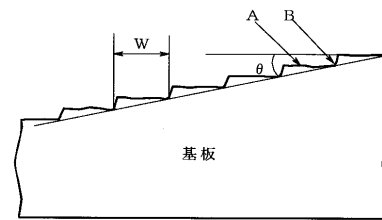
30

40

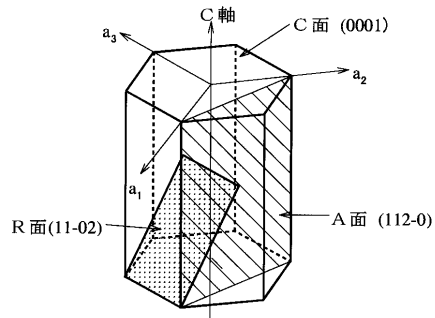
【図 1】



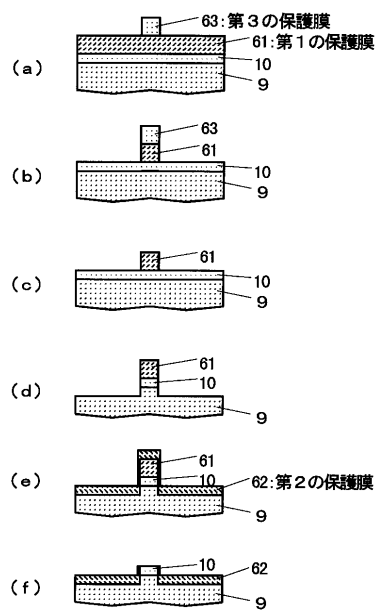
【図 3】



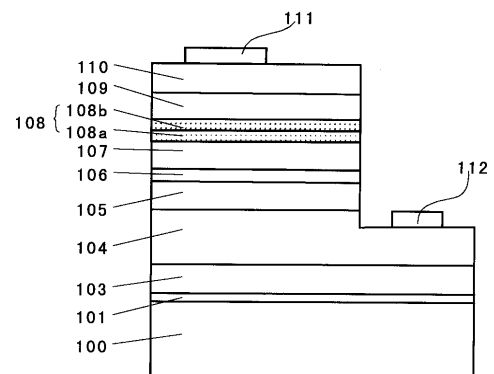
【図 2】



【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