

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5734098号  
(P5734098)

(45) 発行日 平成27年6月10日(2015.6.10)

(24) 登録日 平成27年4月24日(2015.4.24)

(51) Int.Cl. F I  
H O I S 5/343 (2006.01) H O I S 5/343 6 1 0

請求項の数 15 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2011-121541 (P2011-121541)                  (22) 出願日 平成23年5月31日 (2011.5.31)                  (65) 公開番号 特開2012-248792 (P2012-248792A)                  (43) 公開日 平成24年12月13日 (2012.12.13)                  審査請求日 平成26年2月17日 (2014.2.17)</p>	<p>(73) 特許権者 302062931                  ルネサスエレクトロニクス株式会社                  神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地                  (74) 代理人 100103894                  弁理士 冢入 健                  (72) 発明者 野津 俊介                  神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地                  ルネサスエレクトロニクス株式会社内                  審査官 廣崎 拓登</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザーの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

活性層を、第1導電型のGaN基板の上方に堆積し、  
 前記第1導電型とは異なる第2導電型のGaNからなる第1のガイド層を、前記活性層の上方に堆積し、

A1N層を、前記第1のガイド層上に堆積し、

開口部を、前記A1N層に形成し、

前記第2導電型のA1GaNからなる第1のクラッド層を、前記A1N層及び前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層上に、前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層上における成長開始時の第1の成長レートが前記A1N層上における成長開始時の第2の成長レートよりも大きくなるように形成し、

前記第2導電型のコンタクト層を、前記第1のクラッド層上に形成し、

前記開口部以外の前記A1N層は、電流狭窄層として機能する、半導体レーザーの製造方法において、

前記第1の成長レートが、成長開始から一定時間を経過した後に、前記第2の成長レートと等しくなり、かつ前記等しくなった前記第1のクラッド層の成長レートが、0.5 μm/h以下の値で安定化することで、前記第1のクラッド層及び前記コンタクト層は、

前記電流狭窄層から当該コンタクト層の上面へ向かう貫通転位を有する、前記電流狭窄層の上方の第1の領域と、

当該コンタクト層の上面における幅が前記開口部の幅よりも大きく、前記第1のガイ

10

20

ド層から当該コンタクト層の上面へ向かう貫通転位が前記第1の領域よりも低密度で存在する、前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層の上方の第2の領域と、を備えるように形成されることを特徴とする、

半導体レーザの製造方法。

【請求項2】

前記第1のクラッド層の成長温度は、1100以上であることを特徴とする、  
請求項1に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項3】

前記第1のクラッド層の成長温度は、1100以上1200以下であることを特徴とする、

請求項2に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項4】

前記等しくなった前記第1のクラッド層の前記成長レートは、0.2um/h以上0.5um/h以下で前記安定化することを特徴とする、

請求項1に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項5】

前記等しくなった前記第1のクラッド層の前記成長レートは、0.2um/h以上0.5um/h以下で前記安定化し、

前記第1のクラッド層の成長温度は、1100以上1200以下であることを特徴とする、

請求項1に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項6】

前記AlN層は、低温堆積緩衝層であり、

前記AlN層の成長温度は、前記第1のクラッド層の成長温度よりも低いことを特徴とする、

請求項1乃至5のいずれか一項に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項7】

前記AlN層の成長温度は、400であることを特徴とする、

請求項6に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項8】

前記コンタクト層は、GaNからなることを特徴とする、

請求項1乃至7のいずれか一項に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項9】

前記活性層の堆積に先立って、前記第1導電型の第2のクラッド層を、前記GaN基板上に堆積し、

前記第1導電型の第2のガイド層を堆積することを特徴とする、

請求項1乃至8のいずれか一項に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項10】

前記第2のクラッド層はAlGaNからなり、

前記第2のガイド層は、GaNからなることを特徴とする、

請求項9に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項11】

前記第2の領域は、前記コンタクト層の上面へ向かうに従って幅が大きくなるように形成されることを特徴とする、

請求項1乃至10のいずれか一項に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項12】

前記第2の領域は、前記電流狭窄層上の前記第1の領域に乗り上げて形成されることを特徴とする、

請求項11に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項13】

10

20

30

40

50

活性層を、第1導電型のIII族窒化物半導体からなる基板の上に堆積し、  
前記第1導電型とは異なる第2導電型のIII族窒化物半導体からなるガイド層を、前記活性層の上に堆積し、

前記ガイド層の上に、III族窒化物半導体からなる電流狭窄層を堆積し、  
前記電流狭窄層に前記ガイド層を露出させた開口部を形成し、

前記電流狭窄層の上および前記電流狭窄層の前記開口部を埋設するように、第2導電型のIII族窒化物半導体からなるクラッド層を形成し、

前記クラッド層上に、第2導電型のコンタクト層を形成し、  
前記クラッド層の形成工程では、前記開口部を介して露出した前記ガイド層上における成長開始時の第1の成長レートが、前記電流狭窄層上における成長開始時の第2の成長レートよりも大きくなるように形成し、

前記電流狭窄層のバンドギャップは、前記クラッド層のバンドギャップよりも大きく、  
前記クラッド層は、Al組成比がxの $Al_xGa_{1-x}N$ からなり、

前記電流狭窄層は、前記クラッド層のAl組成比xよりも大きいAl組成比yの $Al_yGa_{1-y}N$ からなる、半導体レーザーの製造方法において、

前記第1の成長レートが、成長開始から一定時間を経過した後に、前記第2の成長レートと等しくなり、かつ前記等しくなった前記クラッド層の成長レートが、 $0.5 \mu m/h$ 以下の値で安定化することで、前記クラッド層及び前記コンタクト層は、

前記電流狭窄層から当該コンタクト層の上面へ向かう貫通転位を有する、前記電流狭窄層の上方の第1の領域と、

当該コンタクト層の上面における幅が前記開口部の幅よりも大きく、前記ガイド層から当該コンタクト層の上面へ向かう貫通転位が前記第1の領域よりも低密度で存在する、前記開口部を介して露出した前記ガイド層の上方の第2の領域と、を備えるように形成されることを特徴とする、

半導体レーザーの製造方法。

#### 【請求項14】

前記ガイド層は、前記クラッド層よりもバンドギャップが狭い半導体層であることを特徴とする、

請求項13に記載の半導体レーザーの製造方法。

#### 【請求項15】

前記ガイド層はGaNからなることを特徴とする、

請求項13又は14に記載の半導体レーザーの製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は半導体レーザーの製造方法及び半導体レーザーに関し、特に低素子抵抗の半導体レーザーの製造方法及び半導体レーザーに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

近年、光ピックアップなどの分野において、半導体レーザーが用いられている。特に、高密度記録を実現するため、発光波長が短いIII族窒化物半導体を用いた半導体レーザーが普及している(特許文献1及び2)。

#### 【0003】

III族窒化物半導体を用いた半導体レーザーの例として、特許文献1にかかる半導体レーザー300について説明する。半導体レーザー300は、AlN層を電流狭窄層として用いたインナーストライプ型の発光素子である。図4は、半導体レーザー300の構造を示す断面図である。

#### 【0004】

半導体レーザー300は、n型GaN基板301上に、Siドープn型GaN層302(Si濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $1 \mu\text{m}$ )、n型クラッド層303、n型ガイド層3

10

20

30

40

50

04、3周期多重量子井戸(MQW)層305、キャップ層306及びp型GaNガイド層307が積層されている。n型クラッド層303は、Siドープn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N(Si濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $2 \mu\text{m}$ )からなる。n型ガイド層304は、Siドープn型GaN(Si濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ )からなる。3周期多重量子井戸(MQW)層305は、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N(厚さ $3 \text{ nm}$ )井戸層とSiドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N(Si濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $4 \text{ nm}$ )バリア層とからなる。キャップ層306は、Mgドープp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nからなる。p型GaNガイド層307は、Mgドープp型GaN(Mg濃度 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ )からなる。

## 【0005】

そして、p型GaNガイド層307の上には、電流狭窄層308、p型クラッド層309及びコンタクト層310が積層している。p型クラッド層309は、Mgドープp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N(Mg濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ )からなる。コンタクト層310は、Mgドープp型GaN(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.02 \mu\text{m}$ )からなる。この積層構造の上部及び下部に、それぞれp型電極311及びn型電極312が設けられている。

## 【0006】

続いて、半導体レーザ300の積層構造の製造方法について説明する。まず、n型GaN基板301を成長装置に投入後、NH<sub>3</sub>を供給しながら基板を昇温し、成長温度まで達した時点で第1の結晶成長を開始する。第1の結晶成長では、Siドープn型GaN層302、n型クラッド層303、n型ガイド層304、3周期多重量子井戸(MQW)層305、キャップ層306、p型GaNガイド層307を順次堆積する。その後、基板温度を所定の温度まで降温し、低温AlN層を堆積する。第1の結晶成長の終了後、フォトリソグラフィ及びエッチングにより低温AlN層に開口部308aを形成し、電流狭窄層308を形成する。

## 【0007】

その後、第2の結晶成長を行う。第2の結晶成長では、NH<sub>3</sub>供給量 $0.36 \text{ mol/min}$ にて成長温度である $1100$ まで昇温し、p型クラッド層309を堆積する。そして、基板温度を $1080$ に下げて、コンタクト層310を堆積する。

## 【0008】

電流狭窄層308を構成する低温AlN層は、第1の結晶成長により、低温でアモルファス状に形成される。従って、ウェットエッチングにより、容易に低温AlN層に開口部308aを形成し、電流狭窄層308を得ることができる。電流狭窄層308は、第2の結晶成長において高温で加熱され、電流狭窄層308よりも下方のGaN層の結晶方位を引き継いで固層成長し、結晶化する。

## 【0009】

第2の結晶成長では、結晶化した電流狭窄層308の表面からも結晶成長が進むため、平坦な埋め込み形状が得られる。結晶化した電流狭窄層308上にGaN又は低Al組成のAlGaNを形成する場合、格子定数の違いのため、 $5 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の高密度の転位が発生する。この高密度の転位が、電流狭窄層308での格子歪みを緩和することで、クラックやピットが無い平坦な表面が得られる。

## 【0010】

半導体レーザ300のようなインナーストライプ型の半導体レーザでは、電流狭窄層308の開口部308aの幅に比べて、p型電極311のコンタクト幅を大きくすることができる。

よって、横モードの制御のために幅 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度の狭い開口部308aを設けた半導体レーザにおいても、低いコンタクト抵抗が得られ、素子抵抗の低い半導体レーザが実現できる。

## 【0011】

また、特許文献2には、劈開異常による活性層へ及ぶことを防止することにより、レー

10

20

30

40

50

ザ特性低下を防止する I I I 族窒化物半導体光素子が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2003-78215号公報

【特許文献2】特開2007-250637号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

ところが、発明者が半導体レーザ300について検討を行ったところ、以下に示す問題点を見出した。具体的には、発明者は、インナーストライプ型の半導体レーザ300では、狭い開口部308aの幅よりもp型電極311のコンタクト幅を大きくできるが、実効的には狭い領域しかコンタクトとして機能していないことを見出した。

10

【0014】

半導体レーザ300において、電流狭窄層308上に結晶成長されたp型クラッド層309には、高い密度で転位が存在する。図5は、図4の点線枠320の内部を拡大した断面図である。図5に示すように、転位313が、電流狭窄層308の上部から上方に向けて、p型クラッド層309の中を伝播している。一方で、開口部308a直上の領域は、基板の転位密度を引き継いでいるため、電流狭窄層308直上の領域に比べて転位密度が低い。その結果、電流狭窄層308直上領域のp型クラッド層309は、開口部308a直上領域のp型クラッド層309と比べて、高抵抗となっている。

20

【0015】

そのため、低転位密度領域である開口部308a直上領域のp型クラッド層309が、主な電流経路として機能する。よって、p型電極311を開口部308aの幅より広く形成しても、実際にコンタクトとして機能する領域は開口部308aと同程度の領域のみである。その結果、インナーストライプ構造を採用しても、コンタクト抵抗の低減効果は充分ではない。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明の一態様である半導体レーザの製造方法は、活性層を、第1導電型のGaN基板の上方に堆積し、前記第1導電型とは異なる第2導電型のGaNからなる第1のガイド層を、前記活性層の上方に堆積し、AlN層を、前記第1のガイド層上に堆積し、開口部を、前記AlN層に形成し、前記第2導電型のI I I族窒化物半導体からなる第1のクラッド層を、前記AlN層及び前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層上に、前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層上における成長開始時の第1の成長レートが前記AlN層上における成長開始時の第2の成長レートよりも大きくなるように形成し、前記第2導電型のコンタクト層を、前記第1のクラッド層上に形成するものである。本半導体レーザの製造方法は、開口部上方の第1のクラッド層及びコンタクト層に低転位密度領域を形成し、低転位密度領域のコンタクト層上面における幅を、開口部における幅よりも大きくすることができる。これにより、半導体レーザのコンタクト抵抗を低減することができる。

30

40

【0017】

本発明の一態様である半導体レーザは、第1導電型のGaN基板の上方に堆積された活性層と、前記活性層の上方に堆積され、前記第1導電型とは異なる第2導電型のGaNからなる第1のガイド層と、前記第1のガイド層上に堆積され、開口部を有する電流狭窄層と、前記電流狭窄層及び前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層上に堆積された前記第2導電型のI I I族窒化物半導体からなる第1のクラッド層と、前記第2導電型のコンタクト層と、を備え、前記第1のクラッド層及び前記コンタクト層は、前記電流狭窄層から当該コンタクト層の上面へ向かう貫通転位を有する、前記電流狭窄層の上方の第1の領域と、当該コンタクト層の上面における幅が前記開口部の幅よりも大きく、前記第1

50

のガイド層から当該コンタクト層の上面へ向かう貫通転位が前記第1の領域よりも低密度で存在する、前記開口部を介して露出した前記第1のガイド層の上方の第2の領域と、を備えるものである。本半導体レーザは、開口部上方の第1のクラッド層及びコンタクト層に低転位密度領域のコンタクト層上面における幅が、開口部における幅よりも大きい。これにより、半導体レーザのコンタクト抵抗を低減することができる。

【0018】

本発明の一態様である半導体レーザの製造方法は、活性層を、第1導電型のIII族窒化物半導体からなる基板の上に堆積し、前記第1導電型とは異なる第2導電型のIII族窒化物半導体からなるガイド層を、前記活性層の上に堆積し、前記ガイド層の上に、III族窒化物半導体からなる電流狭窄層を堆積し、前記電流狭窄層に前記ガイド層を露出させた開口部を形成し、前記電流狭窄層の上および前記電流狭窄層の前記開口部を埋設するように、第2導電型のIII族窒化物半導体からなる第1のクラッド層を形成し、前記第1のクラッド層上に、第2導電型のコンタクト層を形成し、前記クラッド層の形成工程では、前記開口部を介して露出した前記ガイド層上における成長開始時の第1の成長レートが、前記電流狭窄層上における成長開始時の第2の成長レートよりも大きくなるように形成し、前記電流狭窄層のバンドギャップは、前記クラッド層のバンドギャップよりも大きいものである。本半導体レーザの製造方法は、開口部上方のクラッド層及びコンタクト層に低転位密度領域を形成し、低転位密度領域のコンタクト層上面における幅を、開口部における幅よりも大きくすることができる。これにより、半導体レーザのコンタクト抵抗を低減することができる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、素子抵抗が低い半導体レーザの製造方法及び半導体レーザを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の構造を模式的に示す断面図である。

【図2】図1の点線枠120の内部を拡大した断面図である。

【図3A】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図3B】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図3C】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図3D】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図3E】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図3F】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図3G】実施の形態1にかかる半導体レーザ100の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図4】半導体レーザ300の構造を示す断面図である。

【図5】図4の点線枠320の内部を拡大した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。各図面においては、同一要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略される。

【0022】

実施の形態1

10

20

30

40

50

本発明の実施の形態 1 にかかる半導体レーザ 100 について説明する。図 1 は実施の形態 1 にかかる半導体レーザ 100 の構造を模式的に示す断面図である。半導体レーザ 100 は、n 型 GaN 基板 101 上に、n 型クラッド層 102、n 型 GaN ガイド層 103、活性層 104、p 型 GaN ガイド層 105、開口部 106a が設けられた電流狭窄層 106、p 型クラッド層 107、p 型コンタクト層 108 が順に積層されている。p 型コンタクト層 108 上には p 型電極 109 が形成され、n 型 GaN 基板 101 の裏面には n 型電極 110 が形成されている。

#### 【0023】

ここで、n 型 GaN 基板 101 及びその上に積層される各層の具体例を示す。n 型 GaN 基板 101 は、例えば、厚さ 300  $\mu\text{m}$ 、基板転位密度  $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$  のフリースタンディング GaN 基板である。n 型クラッド層 102 は、Si ドープ n 型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなり、Si 濃度は  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは 2  $\mu\text{m}$  である。n 型 GaN ガイド層 103 は、Si ドープ n 型 GaN からなり、Si 濃度は  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは 0.1  $\mu\text{m}$  である。活性層 104 は、多重量子井戸 (MQW) 層からなる。本実施の形態では、活性層 104 として、3 周期多重量子井戸層を用いている。活性層 104 は、 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなる厚さ 3 nm の井戸層と  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  からなる厚さ 4 nm のバリア層とにより構成される。p 型 GaN ガイド層 105 は、Mg ドープ p 型 GaN からなり、Mg 濃度は  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは 0.1  $\mu\text{m}$  である。p 型クラッド層 107 は、Mg ドープ p 型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなり、Mg 濃度は  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは 0.5  $\mu\text{m}$  である。p 型コンタクト層 108 は、Mg ドープ p 型 GaN からなり、Mg 濃度は  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは 0.02  $\mu\text{m}$  である。

#### 【0024】

図 2 は、図 1 の点線枠 120 の内部を拡大した断面図である。図 2 に示すように、電流狭窄層 106 の上部から、p 型クラッド層 107 及び p 型コンタクト層 108 を通って、p 型電極 109 に達する転位 111 が発生している。この転位 111 の密度は、n 型 GaN 基板 101 及び n 型 GaN 基板 101 の結晶情報を引き継いで形成された結晶成長層の転位密度に比べて、100 倍以上の高密度である。なお、図 1 における n 型クラッド層 102、n 型 GaN ガイド層 103 及び、活性層 104 及び p 型 GaN ガイド層 105 が、n 型 GaN 基板 101 の結晶情報を引き継いで形成された結晶成長層に相当する。

#### 【0025】

ここで、開口部 106a の直上領域を中心とする p 型クラッド層 107 及び p 型コンタクト層 108 を、低転位密度領域 121 と称する。電流狭窄層 106 の直上領域を中心とする p 型クラッド層 107 及び p 型コンタクト層 108 を、高転位密度領域 122 と称する。

#### 【0026】

転位 111 は、p 型クラッド層 107 において折れ曲がっている。そのため、p 型コンタクト層 108 における低転位密度領域 121 の幅  $W_c$  は、開口部 106a における低転位密度領域 121 の幅  $W_s$  よりも広がっている。すなわち、低転位密度領域 121 は、開口部 106a 近傍において、高転位密度領域 122 の上方に乗り上がって存在している。

#### 【0027】

続いて、半導体レーザ 100 の製造方法について説明する。図 3A ~ 図 3G は、半導体レーザ 100 の製造工程を模式的に示す断面図である。まず、n 型 GaN 基板 101 を用意する。その後、例えば圧力 300 hPa の減圧 MOVPE 装置を用いて、n 型 GaN 基板 101 上に、半導体層を積層する。この際、キャリアガスには、水素と窒素の混合ガスを用いる。また、Ga、Al、In ソースとして、それぞれトリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルインジウム (TMI) を用いる。n 型ドーパントにはシラン ( $\text{SiH}_4$ )、p 型ドーパントにはビスシクロペンタジエニルマグネシウム ( $\text{Cp}_2\text{Mg}$ ) を用いる。

10

20

30

40

50

## 【0028】

n型Ga<sub>2</sub>N基板101を減圧MOVPE装置に投入後、NH<sub>3</sub>を供給しながらn型Ga<sub>2</sub>N基板101を昇温し、成長温度まで達した時点で結晶成長を開始する。これにより、n型クラッド層102、n型Ga<sub>2</sub>Nガイド層103、活性層104及びp型Ga<sub>2</sub>Nガイド層105を順に堆積する(図3A)。

## 【0029】

この場合の結晶成長の条件例を示す。Ga<sub>2</sub>N成長の条件は、基板温度は1080℃、TMG供給量は58μmol/min、NH<sub>3</sub>供給量は0.36mol/minである。AlGa<sub>2</sub>N成長の条件は、基板温度は1080℃、TMA供給量は36μmol/min、TMG供給量は58μmol/min、NH<sub>3</sub>供給量は0.36mol/minである。活性層成長の条件は、基板温度は800℃、TMG供給量は8μmol/min、NH<sub>3</sub>供給量は0.36mol/minである。また、TMIn供給量は、井戸層成長時で48μmol/min、バリア層成長時で3μmol/minである。

10

## 【0030】

その後、電流狭窄層106を形成するため、低温AlN層112を堆積する。低温AlN層112の成長条件は、基板温度が400℃、TMAの供給量は36μmol/min、及びNH<sub>3</sub>の供給量は0.36mol/minである。堆積膜厚は0.1μmである。p型Ga<sub>2</sub>Nガイド層105の成長後、基板温度を1080℃から400℃まで降下させて成長を開始し、低温AlN層112を堆積する(図3B)。

## 【0031】

次いで、低温AlN層112に開口部106aを形成する。具体的には、低温AlN層112上に厚さ100nmのSiO<sub>2</sub>(酸化シリコン)膜113を堆積する。そして、低温AlN層112にレジストを塗布した後、フォトリソグラフィにより幅2μmの帯状パターンをレジスト114に形成する。なお、この帯状パターンの長手方向は、図3Cの紙面に対して垂直方向である。次いで、レジスト114をマスクとして、例えばバッファードフッ酸により、SiO<sub>2</sub>膜113をエッチングする。これにより、SiO<sub>2</sub>膜113に帯状の開口部106bが形成される(図3C)。

20

## 【0032】

そして、レジスト114を除去した後、SiO<sub>2</sub>膜113をマスクとしてウェットエッチングを行い、低温AlN層112をエッチングする。エッチング液には、例えばリン酸と硫酸とを体積比にして1:1の割合で混合した溶液を用いる。80℃の温度に保持されたエッチング液により10間浸漬されることで、SiO<sub>2</sub>膜113でマスクされていない領域の低温AlN層112が除去される。その後、バッファードフッ酸によりマスクとして用いたSiO<sub>2</sub>膜113を除去し、開口部106aが形成される。なお、エッチングにより残存した低温AlN層112が、電流狭窄層106となる(図3D)。

30

## 【0033】

次いで、例えばMOVPE装置を用いて、p型クラッド層107及びp型コンタクト層108を堆積する。具体的には、NH<sub>3</sub>の供給量0.36mol/minにて、温度を1100℃まで上昇させ、p型クラッド層107を堆積する。この際、p型クラッド層107の成長条件は、基板温度が1100℃、TMA供給量が6.3μmol/min、TMG供給量が10μmol/min、NH<sub>3</sub>供給量が0.36mol/minである。この場合、開口部106aのような電流狭窄層106が存在しない領域では、成長レートは0.4μm/hとなる。そして、温度を1080℃まで降下させて、p型コンタクト層108を堆積する。この際、p型コンタクト層108の成長条件は、基板温度が1080℃、TMG供給量が10μmol/min、NH<sub>3</sub>供給量が0.36mol/minである。

40

## 【0034】

このようにしてp型クラッド層107を形成すると、電流狭窄層106から上方に延びる転位111は屈曲し、高転位密度領域122に集中する。以下では、低転位密度領域121及び高転位密度領域122が形成される理由について述べる。

## 【0035】

50



低温 AlN 層からなる電流狭窄層 106 上の結晶成長は、いわゆる低温堆積緩衝層を用いた成長と同様である。この場合、まず電流狭窄層 106 の表面に六角錐状の微小な結晶成長核が形成され、この成長核同士が横方向成長によって合体することで平坦化し、平坦化後はステップフロー成長が行われる。一方、開口部 106 a により露出した p 型 GaN ガイド層 105 上では、成長開始直後からステップフロー成長が行われる。

#### 【0036】

この際、電流狭窄層 106 表面に結晶成長核が形成されるまでは、電流狭窄層 106 の表面では原料が消費されない。そのため、開口部 106 a への実効的な原料供給量が増加し、開口部 106 a 上の p 型クラッド層 107 の成長レートが高くなる。また、電流狭窄層 106 の表面において、結晶成長核が形成されてから平坦化されるまでは、横方向への成長にも原料が使用される。そのため、電流狭窄層 106 の表面における縦方向の成長レートは、ステップフロー成長に比べて低くなる。このため、成長初期においては、開口部 106 a の上方領域の p 型クラッド層 107 a の成長レートは、電流狭窄層 106 の上方領域の p 型クラッド層 107 b の成長レートよりも高くなる (図 3 E)。その後、成長開始から一定時間が経過すると、p 型クラッド層 107 a 及び 107 b の成長レートは等しい値で安定化する。

10

#### 【0037】

開口部 106 a 及び電流狭窄層 106 上での成長初期の成長レートの差は、横方向成長が起きやすい高い成長温度や、原料供給量の少ない低い成長レートの条件下で、より顕著になる。特に、p 型クラッド層 107 の成長温度が 1100 以上、又は、安定化後の p 型クラッド層 107 の成長レートが 0.5  $\mu\text{m}/\text{h}$  以下の場合、成長初期の成長レート差は非常に大きい。よって、電流狭窄層 106 上で成長核が形成されてステップフロー成長が開始されるまでに、開口部 106 a の上方領域の p 型クラッド層 107 a が、電流狭窄層 106 の上方領域の p 型クラッド層 107 b に対して、盛上るように形成される (図 3 F)。

20

#### 【0038】

そのまま成長を続けると、開口部 106 a の上方領域の p 型クラッド層 107 a は横方向へ成長を続ける。そのため、開口部 106 a 近傍の電流狭窄層 106 上から発生した転位は、開口部 106 a から遠ざかる方向に屈曲する。その後、p 型コンタクト層 108 を形成する (図 3 G)。その結果、図 2 に示すように、p 型コンタクト層 108 における低転位密度領域 121 の幅  $W_c$  は、開口部 106 a における低転位密度領域 121 の幅  $W_s$  よりも広くなる。

30

#### 【0039】

本実施の形態では、安定化後の p 型クラッド層 107 の成長レートが低いほど、又は p 型クラッド層 107 の成長温度が高いほど、p 型コンタクト層 108 における低転位密度領域 121 の幅  $W_c$  は大きくなる。しかしながら、製造時間を考慮すると、成長レートは 0.2 ~ 0.5  $\mu\text{m}/\text{h}$  が好ましい。また、MOVPE 装置のヒータ寿命を考慮すると、成長温度は 1100 ~ 1200 が好ましい。

#### 【0040】

その後、既知の技術を用いて、p 型電極 109 及び n 型電極 110 を形成する。具体的には、n 型 GaN 基板 101 の裏面に、厚さ 5 nm の Ti を真空蒸着し、その後厚さ 20 nm の Al を真空蒸着する。また、p 型コンタクト層 108 上に、厚さ 10 nm の Ni を真空蒸着し、その後厚さ 10 nm の Au を真空蒸着する。上述の真空蒸着後のウエハを RTA 装置に投入して、600 / 30 秒間のアロイを行い、オーミックコンタクトを形成する。その後、n 型 GaN 基板 101 の裏面側の Ti / Al 層及び n 型 GaN 基板 101 の表面側の Ni / Au 層上に、厚さ 500 nm の Au を真空蒸着する。これにより、p 型電極 109 及び p 型電極 110 が形成される。p 型電極 109 及び p 型電極 110 の形成後、例えばストライプに垂直な方向 (紙面垂直方向) の素子長が 500  $\mu\text{m}$  となるように、ウエハを劈開し、半導体レーザ 100 を得ることができる。

40

#### 【0041】

50

上述の製造方法により作製した半導体レーザ100の開口部106a近傍から厚さ50nmの試料を採取し、その試料を透過電子顕微鏡観察した。その結果、電流狭窄層106には $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の高密度の転位が存在し、電流狭窄層106上のp型クラッド層107にも同程度の密度で電流狭窄層106上部から伝播する転位111が存在していた。また、開口部106a付近の電流狭窄層106上部から発生した転位111は、p型クラッド層107中を伝播中に開口部106aから遠ざかる方向に向かって屈曲していた。これにより、高転位密度領域122が形成されていた。

【0042】

一方、開口部106a上のp型クラッド層107、すなわち低転位密度領域121には、再成長界面であるp型GaNガイド層105の表面から導入される転位は存在しないことが判明した。

10

【0043】

また、本実施の形態では、n型GaN基板101として低転位密度( $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ )のフリースタANDINGGaN基板を用いている。よって、低転位密度領域121にはn型GaN基板101から伝播する貫通転位が確率的に存在し得るが、本観察によっては観察されなかった。

【0044】

従って、上述の半導体レーザの製造方法によれば、電流狭窄層の開口部幅よりも広い実効コンタクト幅を有する半導体レーザを得ることができる。これにより、より低い素子抵抗を有する半導体レーザを提供することが可能となる。

20

【0045】

なお、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、上述の実施の形態1にかかる半導体レーザ100は、半導体レーザ300と同様に、活性層104とp型GaNガイド層105との間にキャップ層を有していてもよい。

【0046】

半導体レーザ100における半導体層、すなわち、n型GaN基板101、n型クラッド層102、n型GaNガイド層103、活性層104、p型GaNガイド層105、電流狭窄層106、p型クラッド層107及びp型コンタクト層108の元素組成比及び厚さは、例示に過ぎない。よって、半導体レーザ100が半導体レーザとして機能して本発明の作用効果を奏する限りは、元素組成比を適宜変更することが可能である。

30

【0047】

例えば、電流狭窄層106は、P型クラッド層107よりもバンドギャップが大きい層としてAlNの場合を例示したが、P型クラッド層107よりもAl組成比xの高い $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ としてもよい。電流狭窄層106がP型クラッド層107よりもAl組成比の高い $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ であれば、電流狭窄層106のバンドギャップはP型クラッド層107よりも高くできる。なお、Al組成比が異なる $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ では格子定数が異なるため、電流狭窄層106がAlNの場合と同様に転位密度の高い領域ができるという課題が発生する。しかし、この課題は、本発明の手法により、電流狭窄層106がAlNの場合と同様に解決できる。

40

【0048】

また、n型GaNガイド層103は、P型クラッド層107よりもバンドギャップが狭ければよく、例えば、n型GaNガイド層103の代わりに、P型クラッド層107よりもAl組成比が小さい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ としてもよい。

【0049】

n型クラッド層102、n型GaNガイド層103、p型GaNガイド層105、p型クラッド層107及びp型コンタクト層108のドーパントの種類及び濃度は例示に過ぎない。よって、半導体レーザ100が半導体レーザとして機能し本発明の作用効果を奏する限りは、ドーパントの種類及び濃度を適宜変更することが可能である。

【0050】

50

活性層の構造は3周期多重量子井戸構造に限られず、2又は3以上の多重量子井戸構造や単一量子井戸構造とすることが可能である。

【0051】

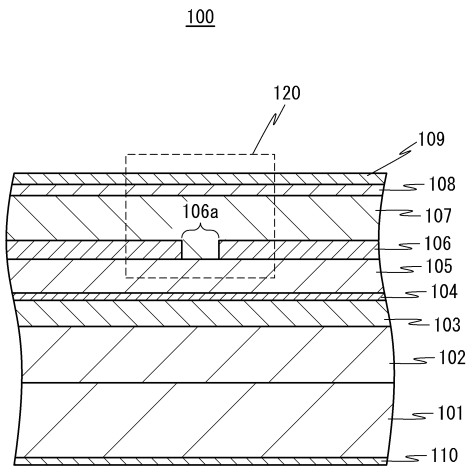
また、n型Ga<sub>0.9</sub>N基板101、n型クラッド層102、n型Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層103、p型Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層105、電流狭窄層106、p型クラッド層107及びp型コンタクト層108の導電型は、例示に過ぎない。従って、適宜導電型を入れ換える、すなわちp型とn型とを入れ換えることが可能である。

【符号の説明】

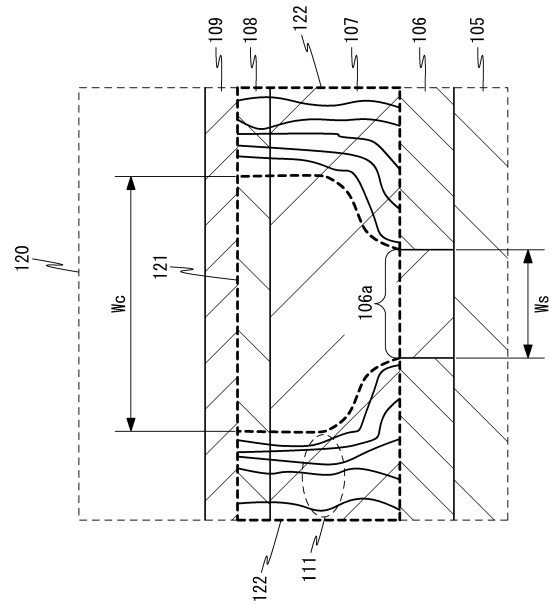
【0052】

100、300	半導体レーザ	10
101、301	n型Ga <sub>0.9</sub> N基板	
102、303	n型クラッド層	
103	n型Ga <sub>0.9</sub> Nガイド層	
104	活性層	
105	p型Ga <sub>0.9</sub> Nガイド層	
106、308	電流狭窄層	
106a、106b	開口部	
107、309	p型クラッド層	
108	p型コンタクト層	
109、311	p型電極	20
110、312	n型電極	
111、313	転位	
112	低温Al <sub>0.1</sub> N層	
113	SiO <sub>2</sub> (酸化シリコン) 膜	
114	レジスト	
121	低転位密度領域	
122	高転位密度領域	
302	Siドープn型Ga <sub>0.9</sub> N層	
304	n型ガイド層	
305	3周期多重量子井戸(MQW)層	30
306	キャップ層	
307	p型Ga <sub>0.9</sub> Nガイド層	
310	コンタクト層	

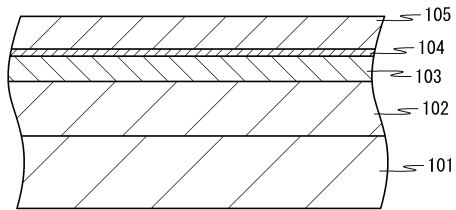
【 図 1 】



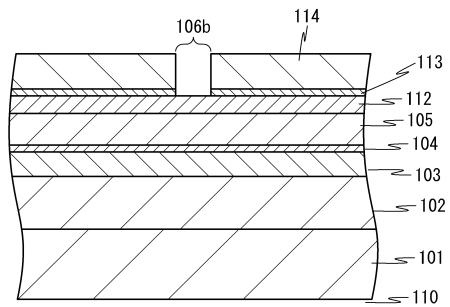
【 図 2 】



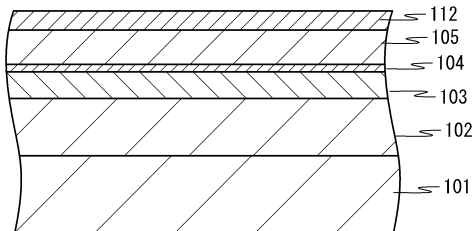
【 図 3 A 】



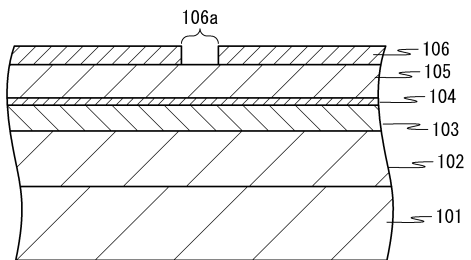
【 図 3 C 】



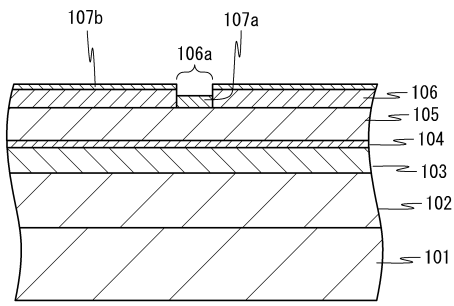
【 図 3 B 】



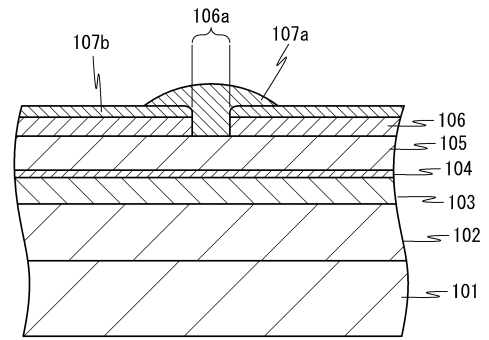
【 図 3 D 】



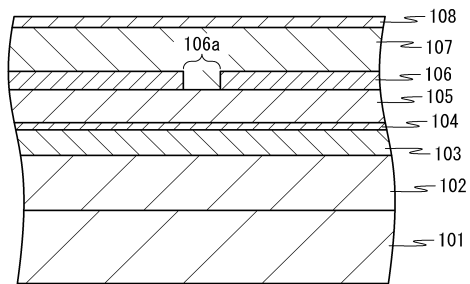
【図 3 E】



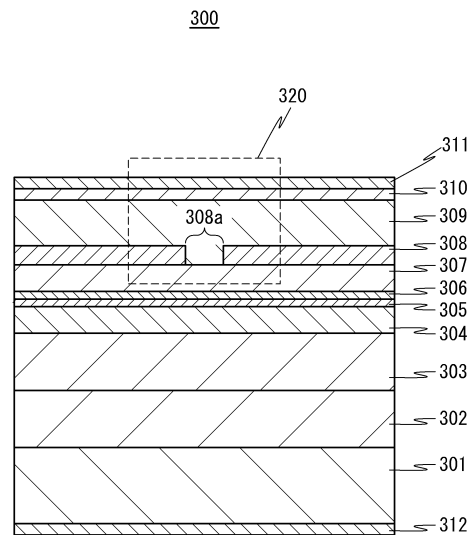
【図 3 F】



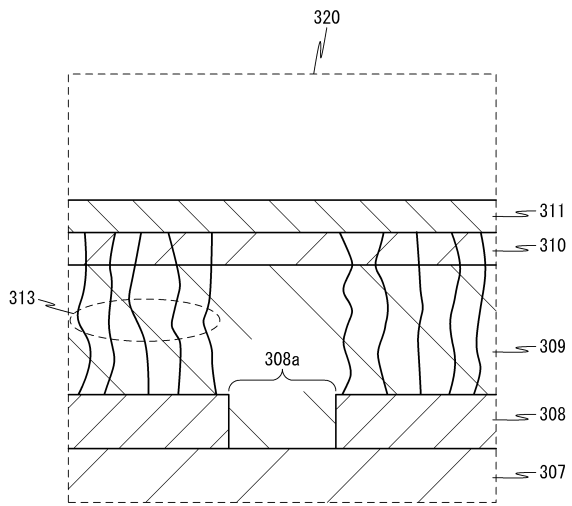
【図 3 G】



【図 4】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2007/066644(WO, A1)  
特開2005-019835(JP, A)  
特開2010-056234(JP, A)  
国際公開第2006/030845(WO, A1)  
特開2001-007443(JP, A)  
特開2002-170778(JP, A)  
特開2005-033099(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50  
H01L 21/205  
21/31  
21/365  
21/469  
21/86  
33/00 - 33/46