

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6838731号  
(P6838731)

(45) 発行日 令和3年3月3日(2021.3.3)

(24) 登録日 令和3年2月16日(2021.2.16)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 S 5/20 (2006.01) HO 1 S 5/20 6 1 0  
 HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2016-242891 (P2016-242891)	(73) 特許権者	599002043
(22) 出願日	平成28年12月15日(2016.12.15)		学校法人 名城大学
(65) 公開番号	特開2018-98401 (P2018-98401A)		愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501
(43) 公開日	平成30年6月21日(2018.6.21)	(74) 代理人	110000497
審査請求日	令和1年7月19日(2019.7.19)		特許業務法人グランダム特許事務所
		(72) 発明者	岩谷 素顕
			愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501
			学校法人名城大学内
		(72) 発明者	竹内 哲也
			愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501
			学校法人名城大学内
		(72) 発明者	上山 智
			愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501
			学校法人名城大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

活性層と、  
 前記活性層に積層して形成されたガイド層と、  
 前記ガイド層に積層して形成され、Alを含有するp型クラッド層と、  
 を備えた窒化物半導体レーザ素子であって、  
 前記p型クラッド層が、前記ガイド層側の界面から離れるに従いAl組成が小さくなるように組成傾斜し、  
前記p型クラッド層の前記ガイド層側の界面のAl組成は、前記活性層のAl組成より0.25以上大きいことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

10

【請求項2】

前記p型クラッド層の層厚は、300nm以上であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】

前記p型クラッド層は、前記活性層のAl組成以下まで組成傾斜していることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】

前記p型クラッド層は、前記活性層のAl組成以上の区間の組成傾斜の度合いに比べて、前記活性層のAl組成未満の区間の組成傾斜の度合いが大きいことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

20

## 【請求項5】

前記p型クラッド層は、層厚方向のAl組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が2つ以上積層して形成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は窒化物半導体レーザ素子に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

紫外線レーザは、ガスレーザやYAGレーザをはじめとした固体レーザが実用化されており、既に大きな市場が形成されている。その一方で、小型・堅牢・長寿命な特長を有する半導体レーザへのパラダイムシフトは、応用分野の拡大や、市場の拡大など大きな可能性を秘めている。ワイドギャップ半導体であるIII族窒化物半導体(GaN、AlN、InN、及びこれらの混晶)、特にAlGaNはAl組成を制御することによって、発振波長が210nmから365nmの光を得ることができる材料である。近年、世界中の研究者が紫外線レーザに関する研究開発を進めてきた結果、高品質なAlGaNを用いることによって電流注入による紫外線レーザが実現している。

## 【0003】

非特許文献1に開示された窒化物半導体レーザ素子の構造図を図1に示す。この窒化物半導体レーザ素子は、サファイア基板Sの表面に高温でAlN層30(もしくはGaN層)を積層して形成し、さらに、AlGaN層31を積層して形成する。そして、AlGaN層31に溝を形成することによって高品質なn-AlGaNコンタクト層32を形成し、その後、n-AlGaNクラッド層33、n-AlGaNガイド層34(ガイド層)、GaN/AlGaN多重量子井戸活性層35、p-AlGaNガイド層36(ガイド層)、p-AlGaNブロック層37、p-AlGaNクラッド層38(p型クラッド層)、p-GaN層39の順で積層する。その後、リッジ構造を形成し、p側電極40及びn側電極41を設けて窒化物半導体レーザを形成している。非特許文献1に開示された技術に基づいて、現時点において波長が326nmの光をレーザ発振することができる窒化物半導体レーザ素子が実現されている。

## 【0004】

また、一般的に、AlGaN等のAlを含有する窒化物半導体はAl組成が大きくなるほど屈折率が小さくなることが知られている。この原理を用いて、Alを含有するn型クラッド層及びAlを含有するp型クラッド層(以降、一对のクラッド層という)のAl組成がAlを含有するn側ガイド層及びAlを含有するp側ガイド層(以降一对のガイド層という)から離れるに従い大きくなるように形成すると、活性層及び一对のガイド層から離れるに従い一对のクラッド層の屈折率が徐々に小さくなる。こうすることで、活性層で発した光を一对のクラッド層で挟まれた活性層及び一对のガイド層内に効率良く閉じ込めることができる。

## 【0005】

また、一对のクラッド層のAl組成を活性層及び一对のガイド層のAl組成より大きくすることによって、活性層及び一对のガイド層よりバンドギャップが大きくなるため、活性層及び一对のガイド層内に電子及び正孔を閉じ込める作用も有することになる。つまり、一对のクラッド層のAl組成を活性層及びガイド層のAl組成より大きくすることによって、活性層及び一对のガイド層内に活性層で発した光や、電子及び正孔を活性層及び一对のガイド層内に良好に閉じ込めることができる。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【非特許文献1】Kazuyoshi Iida, et al, 、"350.9 nm UV Laser Diode Grown on Low-D

10

20

30

40

50

islocation-Density AlGaN", Japanese Journal of Applied Physics、2004年3月、Vol. 43, Part 2, Number 4A、L499

【非特許文献2】Simon J, et al, "Polarization-induced hole doping in wide-band-gap uniaxial semiconductor heterostructures", Science、2010年1月、Vol. 327, Issue 5961, pp. 60-64

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、III族窒化物半導体を用いた紫外レーザにおいて、より短い波長の光でレーザ発振する窒化物半導体レーザ素子を得るには、上記の技術では限界がある。具体的には、p型クラッド層の正孔の濃度を大きくすることが難しいからである。これまでの研究によって、窒化物半導体を用いて発光波長がより短い波長の光の窒化物半導体レーザ素子として良好にレーザ発振させるためには、n型クラッド層の電子の濃度、及びp型クラッド層の正孔の濃度がおよそ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることが好ましいことがわかっている。また、窒化物半導体内を正孔が移動する移動度は $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 程度であることから、p型クラッド層内の正孔の濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上でなければレーザ発振することができる量の正孔を活性層に注入することができないこともわかっている。

10

【0008】

一般的に、窒化物半導体に正孔を添加するために、結晶成長の際にp型不純物としてMgが結晶内に添加される。そして、Mgを添加して結晶成長する際に、活性層及び一对のガイド層内に活性層で発生した光や、電子及び正孔を良好に閉じ込める目的のためにp型クラッド層のAl組成を大きくすると、室温におけるp型クラッド層内の正孔の濃度が低下してしまう。これは、p型クラッド層のAl組成が大きくなるに従いp型クラッド層内に添加されたp型不純物であるMgが活性化の際に要するエネルギーが大きくなるためである。詳しくは、p型クラッド層内に添加されたMgが活性化し難くなり、p型クラッド層内の正孔の濃度を大きくできないからである。これまでの研究によって、p型クラッド層のAl組成がおよそ0.3以上になると、p型クラッド層の正孔の濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満になり、レーザ発振することができる量の正孔を活性層に注入することができないことがわかっている。つまり、326nmより小さな波長の光の窒化物半導体レーザ素子を実現（すなわち、発振波長の更なる短波長化）するには、p型クラッド層において、Al組成が大きく、且つp型クラッド層内の正孔の濃度を高める必要がある。また、半導体レーザにおいて、p型クラッド層の目的は、活性層に正孔を注入する点、及び光を伝搬させる点であるが、これら2点の目的を同時に達成できるp型クラッド層はこれまで実現できなかった。

20

30

【0009】

紫外レーザに対して紫外LEDでは、既に発光波長が200nm帯において、外部量子効率が10%程度のデバイスが実現しつつある（非特許文献2参照。）。紫外LEDは活性層に光を閉じ込める必要がないため、p-GaN層を用いる方法や、p-AlGaNクラッド層のAl組成を組成傾斜する方法等を用いて326nmより小さな波長の光を得ている。しかし、これら2つの方法を用いても活性層に光を閉じ込めることはできないため、326nmより小さな波長の光でレーザ発振することはできない。

40

【0010】

本発明は、上記従来の実情に鑑みてなされたものであって、より短い波長の光でレーザ発振することができる窒化物半導体レーザ素子を提供することを解決すべき課題としている。

【0011】

上記従来の実情を踏まえて、発明者らが鋭意検討した結果、p型クラッド層のAl組成をガイド層から離れるに従い小さくなるように組成傾斜させる。具体的には、ガイド層側のp型クラッド層の界面のAl組成を活性層及びガイド層のAl組成より大きくし、ガイ

50

ド層から離れるに従いA1組成が小さくなるように組成傾斜させる。これにより、p型クラッド層内のガイド層との界面を含む界面近傍に負の分極固定電荷が分布する。すると、負の分極固定電荷を打ち消す方向にプラスの電荷である正孔が形成される。こうして、A1組成が大きくてもp型クラッド層内のガイド層との界面の近傍の正孔の濃度を高めることができ、活性層への正孔の注入を良好にすることができることを見出した。

【0012】

しかし、p型クラッド層のA1組成をガイド層から離れるに従い小さくなるように組成傾斜させると、活性層及びガイド層に光を閉じ込める作用が十分に機能しないという問題が生じる。この問題を解決するため、発明者らがさらに鋭意検討した結果、p型クラッド層のA1組成が、活性層の中のA1組成が小さい層のA1組成よりも小さいA1組成の区間の層厚を薄く形成することによって、p型クラッド層の光を閉じ込める作用を良好に機能させることができることを見出した。

10

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の窒化物半導体レーザは、  
 活性層と、  
 前記活性層に積層して形成されたガイド層と、  
 前記ガイド層に積層して形成され、A1を含有するp型クラッド層と、  
 を備えた窒化物半導体レーザであって、  
 前記p型クラッド層が、前記ガイド層側の界面から離れるに従いA1組成が小さくなるように組成傾斜し、  
前記p型クラッド層の前記ガイド層側の界面のA1組成は、前記活性層のA1組成より0.25以上大きいことを特徴とする。

20

【0014】

この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層が、ガイド層側の界面から離れるに従いA1組成が小さくなるように組成傾斜している。これにより、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層内のガイド層との界面を含む界面近傍に負の分極固定電荷が分布する。すると、負の分極固定電荷を打ち消す方向にプラスの電荷である正孔が形成される。これにより、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層内のガイド層との界面を含む界面近傍の正孔の濃度を高めることができ、活性層及びガイド層へ容易に正孔を注入することができる。また、この窒化物半導体レーザ素子はガイド層側の界面及び界面近傍のバンドギャップをガイド層のバンドギャップより大きくすることができる。これにより、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層内からガイド層に良好に正孔を注入することができる。

30

【0015】

したがって、本発明の窒化物半導体レーザはより短い波長の光をレーザ発振することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】非特許文献1の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式図である。

40

【図2】実施例1の構造を示す模式図である。

【図3】実施例2のサンプルの構造を示す模式図である。

【図4】実施例3のサンプルの構造を示す模式図である。

【図5】実施例4のサンプルの構造を示す模式図である。

【図6】実施例5のサンプルの構造を示す模式図である。

【図7】比較例1のサンプルの構造を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明における好ましい実施の形態を説明する。

【0019】

50

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、p型クラッド層の層厚は300nm以上であり得る。この場合、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層の層厚をより厚くすることによって、活性層及び一对のガイド層内に活性層で発生した光や、電子及び正孔をより良好に閉じ込めることができる。

#### 【0020】

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、p型クラッド層は活性層のAl組成以下まで組成傾斜し得る。この場合、この窒化物半導体レーザ素子はガイド層から離れた界面側のp型クラッド層のバンドギャップを小さくすることができる。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層のガイド層から離れた界面に電極を設ける場合、電極とp型クラッド層との電気的特性を近づけることができるため、電極からp型クラッド層に正孔を良好に注入することができる。

10

#### 【0021】

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、p型クラッド層は、活性層のAl組成以上の区間の組成傾斜の度合いに比べて、活性層のAl組成未満の区間の組成傾斜の度合いが大きくなり得る。この場合、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層が活性層で発した光を反射する際の光の損失をより良好に抑えることができる。

#### 【0022】

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、p型クラッド層は、層厚方向のAl組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が2つ以上積層して形成され得る。この場合、この窒化物半導体レーザ素子はp型クラッド層の層厚方向において、屈折率の大きさや、分極電荷による固定電荷の量を自在に調節することができる。これにより、所望の特性の窒化物半導体レーザ素子を容易に得ることができる。

20

#### 【0023】

次に、本発明の窒化物半導体レーザ素子を具体化した実施例1～5、及び比較例1について、図面を参照しつつ説明する。

#### 【0024】

##### <実施例1>

実施例1は、後述する実施例2～5のサンプル、及び比較例1のサンプルに共通する窒化物半導体レーザ素子の構造、及び製造方法を示すものである。実施例1はおよそ300nmの波長の光をレーザ発振することができる窒化物半導体レーザ素子を形成することを目的としている。実施例1の窒化物半導体レーザ素子は、図2に示すように、サファイア基板S、AlN層10、n型AlGaInクラッド層11、ガイド層であるn側AlGaInガイド層12、活性層である3重量子井戸活性層13、ガイド層であるp側AlGaInガイド層14、p型クラッド層であるp型AlGaInクラッド層15等を備えている。

30

#### 【0025】

有機金属化合物気相成長法(MOCVD法)等の方法を用いて、サファイア基板S(以下、基板Sという)の表面側(図2における上側である、以下同じ。)に積層して結晶成長させる。まず、反応炉内に基板Sをセットする。そして、反応炉内の温度を調節して基板の温度をおよそ1200にする。そして、反応炉内に、TMAI(トリメチルアルミニウム)等のAlの原料、及びNH<sub>3</sub>等のNの原料等を供給して、2μmの厚みのAlN層10を積層して結晶成長させる。

40

#### 【0026】

次に、AlN層10の表面にn型AlGaInクラッド層11を積層して結晶成長する。詳しくは、反応炉内の温度を調節して基板Sの温度を1150にする。そして、反応炉内にSiH<sub>4</sub>(シラン)等のn型不純物であるSiの原料、及びTMGa(トリメチルガリウム)等のGaの原料を供給して、3μmの厚みのn型AlGaInクラッド層11を積層して結晶成長させる。反応炉内へのSiH<sub>4</sub>等の注入量はn型AlGaInクラッド層11のSiの濃度が3×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>になるように調節する。n型AlGaInクラッド層11のAl組成は0.5である。

#### 【0027】

50

次に、 $n$ 型 AlGaIn クラッド層 11 の表面に  $n$ 側 AlGaIn ガイド層 12 を積層して結晶成長する。詳しくは、反応炉内への  $\text{SiH}_4$  等の供給を停止して、100 nm の厚みのアンドープの  $n$ 側 AlGaIn ガイド層 12 を積層して結晶成長させる。 $n$ 側 AlGaIn ガイド層 12 の Al 組成は 0.4 である。

【0028】

次に、 $n$ 側 AlGaIn ガイド層 12 の表面に 3 重量子井戸活性層 13 を積層して結晶成長する。3 重量子井戸活性層 13 は、Al 組成が 0.3 の AlGaIn 量子井戸層、及び Al 組成が 0.4 の AlGaIn バリア層を 1 ペアとし、このペアを 3 つ積層して結晶成長して形成されている（図示せず。）。AlGaIn 量子井戸層の層厚は 3 nm である。AlGaIn バリア層の層厚は 6 nm である。

10

【0029】

次に、3 重量子井戸活性層 13 の表面に 100 nm の厚みのアンドープの  $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 を積層して結晶成長する。 $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 の Al 組成は 0.4 である。

【0030】

次に、 $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 の表面に  $p$ 型 AlGaIn クラッド層 15 を積層して結晶成長する。詳しくは、反応炉内に  $\text{Cp}_2\text{Mg}$ （シクロペンタジエニルマグネシウム）等の  $p$ 型不純物である Mg の原料を注入して、450 nm の厚みの  $p$ 型 AlGaIn クラッド層 15 を積層して結晶成長させる。反応炉内への  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  等の注入量は  $p$ 型 AlGaIn クラッド層 15 の Mg の濃度が  $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  になるように調節する。 $p$ 型 AlGaIn クラッド層 15 は Al を含有している。こうして積層して結晶成長する層構造は、結晶成長している際に、反応炉内に供給している TMAI（トリメチルアルミニウム）等の Al の原料の供給量を変更することによって、積層された層のそれぞれの Al 組成を変更したり、層自体の Al 組成を組成傾斜させたりすることができる。また、 $\text{NH}_3$  等の N の原料や TMGa（トリメチルガリウム）等の Ga の原料の反応炉内への供給量を変更することによって、N 組成や Ga 組成も自在に変更することができる。

20

【0031】

次に、こうして積層して結晶成長し、層構造を形成した基板 S を用いて電流注入可能な素子形成を行う。素子形成は公知の方法で実行され、例えば、フォトリソグラフィ及びドライエッチング等を用いて所望の形に素子を成形した後、 $p$ 型 AlGaIn クラッド層 15 から 3 重量子井戸活性層 13 に正孔を注入する  $p$ 側電極、及び  $n$ 型 AlGaIn クラッド層 11 から 3 重量子井戸活性層 13 に電子を注入する  $n$ 側電極を設けて、レーザ構造に必要な共振器を形成する（図示せず。）。こうして、電流注入可能な素子を形成することができる。

30

【0032】

<実施例 2 ~ 5、比較例 1 >

実施例 1 の窒化物半導体レーザ素子の製造方法を用いて、実施例 2 ~ 5 のサンプル及び比較例 1 のサンプルを作製した。

【0033】

具体的には、実施例 2 のサンプルは、図 3 に示すように、 $p$ 型クラッド層である  $p$ 型 AlGaIn クラッド層 115 の Al 組成を  $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 の界面から  $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 から離れるに従い 0.8 から 0 まで一様に組成傾斜させている。つまり、 $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 は、 $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 側の界面から離れるに従い Al 組成が小さくなるように組成傾斜している。また、 $p$ 型 AlGaIn クラッド層 115 の  $p$ 側 AlGaIn ガイド層 14 側の界面の Al 組成は、3 重量子井戸活性層 13 の AlGaIn 量子井戸層の Al 組成より 0.25 以上である 0.5 大きい。また、 $p$ 型 AlGaIn クラッド層 115 の層厚は、300 nm 以上である。また、 $p$ 型 AlGaIn クラッド層 115 は、3 重量子井戸活性層 13 の Al 組成以下まで組成傾斜している。

40

【0034】

実施例 3 のサンプルは、図 4 に示すように、 $p$ 型 AlGaIn クラッド層 215 の Al 組

50

成を p 側 AlGaIn ガイド層 14 の界面から 400 nm の区間 215 A において、p 側 AlGaIn ガイド層 14 から離れるに従い 0.8 から 3 重量子井戸活性層 13 の AlGaIn 量子井戸層の Al 組成である 0.3 まで変化させる。そして、p 型 AlGaIn クラッド層 215 の上側の 50 nm の区間 215 B において、p 側 AlGaIn ガイド層 14 から離れるに従い Al 組成を 0.3 から 0 まで変化させている。実施例 3 のサンプルの p 型 AlGaIn クラッド層 215 は、p 側 AlGaIn ガイド層 14 の界面から 400 nm の区間 215 A と、p 型 AlGaIn クラッド層 215 の上側の 50 nm の区間 215 B とで、Al 組成の組成傾斜の度合いが異なっている。つまり、p 型 AlGaIn クラッド層 215 は、層厚方向の Al 組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が 2 つ積層して形成されている。詳しくは、p 側 AlGaIn ガイド層 14 の界面から 400 nm の区間 215 A より、p 型 AlGaIn クラッド層 215 の上側の 50 nm の区間 215 B のほうが Al 組成の組成傾斜の度合いが大きい。ここで、組成傾斜の度合いとは、層厚方向に対する Al 組成が一様に組成傾斜している場合における Al 組成の変化の割合であり、層厚方向の最大の Al 組成と最小の Al 組成との差を層厚で除したものと定義する。つまり、p 型 AlGaIn クラッド層 215 は、3 重量子井戸活性層 13 の AlGaIn 量子井戸層の Al 組成以上の区間の組成傾斜の度合いに比べて、3 重量子井戸活性層 13 の AlGaIn 量子井戸層の Al 組成未満の区間の組成傾斜の度合いが大きい。

10

## 【0035】

実施例 4 のサンプルは、図 5 に示すように、p 型 AlGaIn クラッド層 315 の Al 組成を p 側 AlGaIn ガイド層 14 の界面から p 側 AlGaIn ガイド層 14 から離れるに従い 0.8 から 0.3 まで一様に組成傾斜させている。

20

## 【0036】

実施例 5 のサンプルは、図 6 に示すように、p 型 AlGaIn クラッド層 415 の Al 組成を p 側 AlGaIn ガイド層 14 の界面から p 側 AlGaIn ガイド層 14 から離れるに従い 0.8 から 0.3 まで一様に組成傾斜させ、さらに Al を含まない p 型 GaIn 層 16 を 50 nm 積層して結晶成長している。実施例 5 のサンプルは p 型 AlGaIn クラッド層 415 の Al 組成の組成傾斜の度合いが実施例 4 のサンプルの p 型 AlGaIn クラッド層 315 と同じである。

## 【0037】

比較例 1 のサンプルは、図 7 に示すように、p 型 AlGaIn クラッド層 515 の Al 組成を組成傾斜させていない。また、比較例 1 のサンプルは p 型 AlGaIn クラッド層 515 の層厚が 600 nm である。なお、比較例 1 のサンプルの p 型 AlGaIn クラッド層 515 の Al 組成の大きさは、Al 組成の大きさを 0.3 から 0.8 の間で適宜変化させて検討した結果に基づいて、最適な大きさにされている。

30

## 【0038】

こうして作製した実施例 2 ~ 5 のサンプル、及び比較例 1 のサンプルの閾値電流密度、及び閾値電圧を測定した結果を表 1 に示す。詳しくは、実施例 2 ~ 5 のサンプル、及び比較例 1 のサンプルのそれぞれの閾値電流密度、及び閾値電圧はデバイスシミュレータである SiLense を用いて測定した。

## 【0039】

40

## 【表 1】

	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	比較例 1
閾値電流密度 kA/cm <sup>2</sup>	~ 15	~ 6	~ 6	~ 8	発振せず
閾値電圧 V	~ 8	~ 6	~ 15	~ 7	

## 【0040】

比較例 1 のサンプルは Al 組成の大きさを変化させてもレーザ発振しないことがわかつ

50

た。これは、p型AlGaInクラッド層515のAl組成が0.3以上であると、p型AlGaInクラッド層515内の正孔の濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満になりレーザ発振に必要な量の正孔を3重量量子井戸活性層13に注入することができないためであると考えられる。

#### 【0041】

これに対して、p型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415のようにAl組成を組成傾斜させた実施例2~5のサンプルはレーザ発振することがわかった。また、実施例2~5のサンプルなかで、実施例3のサンプルがレーザ発振する閾値電流密度及び閾値電圧が最も低いことがわかった。つまり、実施例3のサンプルの構造がレーザ発振するのに最適であることがわかった。これにより、比較例1のサンプルのように、p型AlGaInクラッド層515のAl組成が組成傾斜していない場合、Al組成の大きさが0.3~0.8の間どのような大きさであってもレーザ発振することがなく、実施例2~5のサンプルのようにp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415のAl組成をp側AlGaInガイド層14から離れるに従い小さくなるように一様に組成傾斜させると、従来実現できなかったより短い波長の光でレーザ発振できることがわかった。

#### 【0042】

ここで、p型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415のようにAl組成を組成傾斜させる効果について説明する。窒化物半導体の有する分極はAl組成が大きくなるに伴い大きくなる。つまり、p型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415のようにAl組成を組成傾斜させることによって、Al側(III族側)の分極による負の分極固定電荷がp側AlGaInガイド層14との界面を含む界面近傍に均一に分布する。さらに、これによって得られた負の分極固定電荷を打ち消す方向にプラスの電荷である正孔が価電子帯に生成される。このうち分極固定電荷はヘテロ接合が形成されることによって発生するものであるため、外から電界を与えても結晶内を移動することはできないが、正孔は外から電界を与えることによって結晶内を移動することができる。つまり、価電子帯に生成された正孔によって、p側から3重量量子井戸活性層13へ注入される正孔の量をより増やすことができる。また、窒化物半導体の有する分極はAl組成が大きくなるに伴い大きくなるため、価電子帯に生成される正孔の量もAl組成が大きくなるに伴い大きくなる。

#### 【0043】

これに対して、実施例2, 3のサンプルのp型AlGaInクラッド層115, 215のようにAl組成を3重量量子井戸活性層13のAl組成より小さい区間を設けたり、実施例5のサンプルのp型AlGaInクラッド層415の表面にp型GaIn層16を設けたりすることは、3重量量子井戸活性層13に光を閉じ込めることに対して不利な構造である。

#### 【0044】

一般的に、半導体レーザでは高い屈折率を持つ活性層を活性層より低い屈折率を有するクラッド層で挟み込むことによって活性層に光を閉じ込めている。また、半導体材料ではバンドギャップが大きくなると屈折率が小さくなる傾向がある。つまり、AlGaIn系材料ではAl組成が大きくなるに従いバンドギャップが大きくなり、且つ屈折率が小さくなる。そして、クラッド層のAl組成を活性層の量子井戸層より小さくすると、クラッド層の屈折率が活性層の屈折率より大きくなるため、活性層から発した光がクラッド層で吸収されてしまい、良好にレーザ発振することができなくなるため半導体レーザとしては不利となる。

#### 【0045】

上記の点を鑑み、実施例2~5のサンプルはp側AlGaInガイド層14のAl組成よりp側AlGaInガイド層14との界面のp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415のAl組成を0.4大きくしている。

#### 【0046】

また、シミュレータの計算の結果から、p側AlGaInガイド層14とp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415とのAl組成の差は0.3以上が好ましいこ

10

20

30

40

50

とがわかった。また、活性層から発した光を吸収する層（すなわち、実施例2のサンプルのp型AlGaInクラッド層115のAl組成が3重量子井戸活性層13のAlGaIn量子井戸層よりも小さい区間や、実施例3のサンプルの区間215B、及び実施例5のサンプルのp型GaN層16）の層の厚みが50nmを超えると発振特性が良好でなくなることも実施例2のサンプルの閾値電流密度、及び閾値電圧等の測定の結果からわかっている。これにより、好ましくは実施例3のサンプルのp型AlGaInクラッド層215の上側の50nmの区間215B、及び実施例5のサンプルのAlを含まないp型GaN層16のようにAl組成が3重量子井戸活性層13のAlGaIn量子井戸層よりも小さい層の層厚を50nm以下にすることによって、より高性能な窒化物半導体レーザ素子を実現することができる。

10

**【0047】**

また、実施例4のサンプルは実施例2、3、5のサンプルに比べて閾値電圧が大きい。これは、p型AlGaInクラッド層315におけるp側電極とのコンタクト抵抗によって電圧が上昇したためであり、低い抵抗のオーミック電極を形成することができる技術が新たに見出されれば実施例3、5のサンプルと同等の閾値電圧に抑えることができると考えられる。

**【0048】**

このように、この窒化物半導体レーザはp型AlGaInクラッド層115、215、315、415が、p側AlGaInガイド層14側の界面から離れるに従いAl組成が小さくなるように組成傾斜している。これにより、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115、215、315、415内のp側AlGaInガイド層14との界面を含む界面近傍に負の分極固定電荷が分布する。すると、負の分極固定電荷を打ち消す方向にプラスの電荷である正孔が形成される。これにより、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115、215、315、415内のp側AlGaInガイド層14との界面を含む界面近傍の正孔の濃度を高めることができ、3重量子井戸活性層13及びp側AlGaInガイド層14へ容易に正孔を注入することができる。

20

**【0049】**

したがって、本発明の窒化物半導体レーザ素子はより短い波長の光をレーザ発振することができる。

**【0050】**

また、この窒化物半導体レーザ素子において、p型AlGaInクラッド層115、215、315、415のp側AlGaInガイド層14側の界面のAl組成は、3重量子井戸活性層13のAl組成より0.5（すなわち、0.25以上である）大きい。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115、215、315、415側の界面及び界面近傍のバンドギャップをp側AlGaInガイド層14のバンドギャップより大きくすることができる。これにより、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115、215、315、415内からp側AlGaInガイド層14に良好に正孔を注入することができる。

30

**【0051】**

また、この窒化物半導体レーザ素子において、p型AlGaInクラッド層115、215、315、415の層厚は450nm（すなわち、300nm以上である）である。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115、215、315、415の層厚をより厚くすることによって、3重量子井戸活性層13、n側AlGaInガイド層12、及びp側AlGaInガイド層内に3重量子井戸活性層13で発生した光や、電子及び正孔をより良好に閉じ込めることができる。

40

**【0052】**

また、この窒化物半導体レーザ素子において、p型AlGaInクラッド層115、215、315、415は3重量子井戸活性層13のAl組成以下まで組成傾斜している。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp側AlGaInガイド層14から離れた界面側のp型AlGaInクラッド層115、215、315、415のバンドギャップを小さくす

50

ることができる。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415のp側AlGaInガイド層14から離れた界面に電極を設けた場合、電極とp側AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415との電気的特性を近づけることができるため、電極からp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415に正孔を良好に注入することができる。

【0053】

また、この窒化物半導体レーザ素子において、p型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415は、3重量子井戸活性層13のAl組成以上の区間の組成傾斜の度合いに比べて、3重量子井戸活性層13のAl組成未満の区間の組成傾斜の度合いが大きくなる。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415が3重量子井戸活性層13で発した光を反射する際の光の損失をより良好に抑えることができる。

10

【0054】

また、この窒化物半導体レーザ素子において、p型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415は、層厚方向のAl組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が2つ積層して形成されている。このため、この窒化物半導体レーザ素子はp型AlGaInクラッド層115, 215, 315, 415の層厚方向において、屈折率の大きさや、分極電荷による固定電荷の量を自在に調節することができる。これにより、所望の特性の窒化物半導体レーザ素子を容易に得ることができる。

【0055】

20

本発明は上記記述及び図面によって説明した実施例1~5に限定されるものではなく、例えば次のような実施例も本発明の技術的範囲に含まれる。

(1) 実施例1~5では、p型半導体不純物としてMgを用いているが、これに限らず、p型半導体不純物である、Zn, Be, Ca, Sr、及びBa等であっても良い。

(2) 実施例1~5では、n型半導体不純物としてSiを用いているが、これに限らず、n型半導体不純物である、Ge等であっても良い。

(3) 実施例1~5では、サファイア基板を用いているが、これに限らず、GaN基板やAlN基板等の他の基板を用いても良い。

(4) 実施例1~5では、MOCVD法を用いて積層して結晶成長させているが、これに限らず、HVPE、MBE、スパッタ、及びLPEE等の他の方法を用いて積層して結晶成長させても良い。

30

(5) 実施例1~5では、Al組成が0.3のAlGaIn量子井戸層、及びAl組成が0.4のAlGaInバリア層を1ペアとし、このペアを3つ積層して結晶成長して形成されている3重量子井戸活性層を形成しているが、これに限らず、このペアを2つ以下でもよく、4つ以上でもよい。

(6) 実施例1~5では、AlGaIn量子井戸層のAl組成が0.3で、AlGaInバリア層のAl組成が0.4であるが、これに限らず、AlGaIn量子井戸層のAl組成が0.3未満であってもよく0.3より大きくてもよい。また、AlGaInバリア層のAl組成が0.4未満であってもよく0.4より大きくてもよい。

(7) 実施例1~5では、n側AlGaInガイド層、及びp側AlGaInガイド層の層厚が100nmであるが、これに限らず、n側AlGaInガイド層、及びp側AlGaInガイド層の層厚が100nm未満であってもよく100nmより大きくてもよい。また、n側AlGaInガイド層とp側AlGaInガイド層とのそれぞれの層厚を互いに異なる層厚にしてもよい。

40

(8) 実施例3では、p型AlGaInクラッド層において、層厚方向のAl組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が2つ積層して形成しているが、これに限らず、p型AlGaInクラッド層において、層厚方向のAl組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が2つ以上積層して形成されていてもよい。例えば、p型AlGaInクラッド層において、p側AlGaInガイド層の界面からAl組成が互いに異なる第1区間、第1区間の上側の第2区間、及び第2区間の上側の第3区間を形成する。これにより、p型AlGaInクラッド層の屈

50

折率の大きさや、分極電荷による固定電荷の量を自在に調節することができる。つまり、p型AlGaInクラッド層において、層厚方向のAl組成の組成傾斜の度合いの異なる区間が2つ以上積層して形成することによって、所望の特性を有したp型AlGaInクラッド層を容易に得ることができる。

【符号の説明】

【0056】

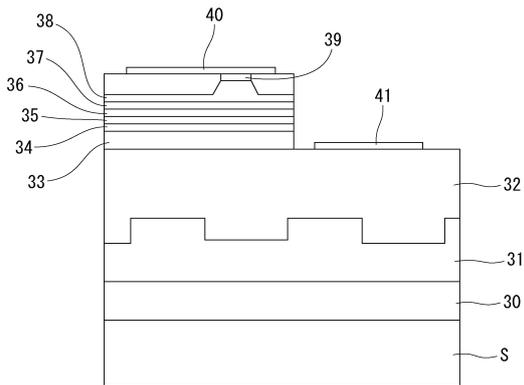
13...3重量子井戸活性層(活性層)

14...p側AlGaInガイド層(ガイド層)

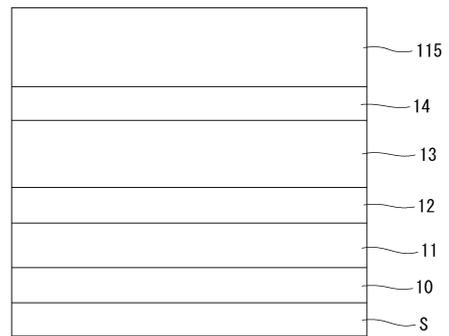
15, 115, 215, 315, 415...p型AlGaInクラッド層(p型クラッド層)

)

【図1】

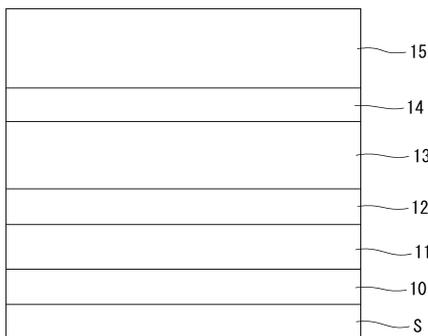


【図3】



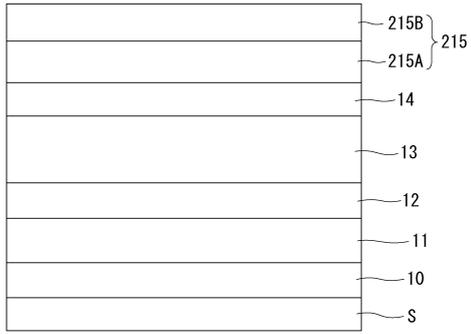
実施例2

【図2】



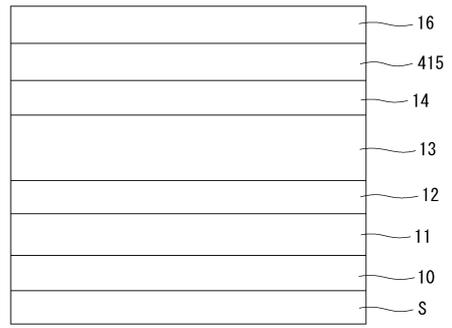
実施例1

【 図 4 】



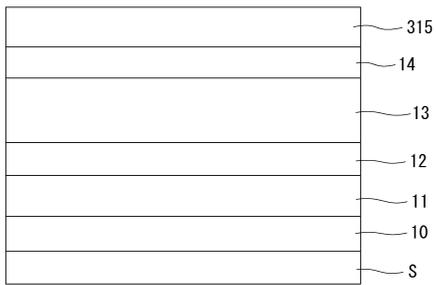
実施例 3

【 図 6 】



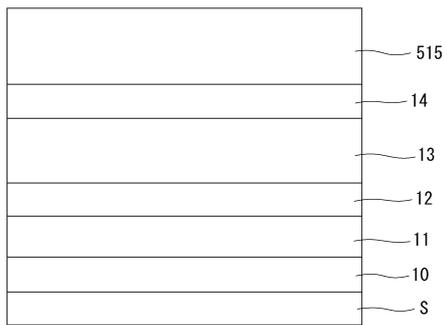
実施例 5

【 図 5 】



実施例 4

【 図 7 】



比較例 1

## フロントページの続き

- (72)発明者 赤 崎 勇  
愛知県名古屋市天白区塩釜口1 - 5 0 1 学校法人名城大学内
- (72)発明者 川瀬 雄太  
愛知県名古屋市天白区塩釜口1 - 5 0 1 学校法人名城大学内
- (72)発明者 安田 俊樹  
愛知県名古屋市天白区塩釜口1 - 5 0 1 学校法人名城大学内

審査官 高 椋 健 司

- (56)参考文献 特開2011-210951(JP,A)  
特開平11-340505(JP,A)  
国際公開第2007/005984(WO,A1)  
特開2000-091705(JP,A)  
SIMON, J. et al., "Polarization-Induced Hole Doping in Wide-Band-Gap Uniaxial Semiconductor Heterostructures", Science, 2010年 1月 1日, Vol.327, No.5961, pp.60-64, doi: 10.1126/science.1183226  
IIDA, K. et al., "350.9 nm UV Laser Diode Grown on Low-Dislocation-Density AlGaIn", Japanese Journal of Applied Physics. Part 2. Letters, 2004年 3月19日, Vol.43, No. 4A, pp.L499-L500, doi: 10.1143/JJAP.43.L499  
Sato, K. et al., "Light confinement and high current density in UVB laser diode structure using Al composition-graded p-AlGaIn cladding layer", Applied Physics Letters, 2019年 5月16日, Vol.114, No.19, pp.191103-1 - 191103-5, doi: 10.1063/1.5095149

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01S 5/00 - 5/50  
JSTPlus(JDreamII)