

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4854829号  
(P4854829)

(45) 発行日 平成24年1月18日(2012.1.18)

(24) 登録日 平成23年11月4日(2011.11.4)

(51) Int. Cl. F I  
**HO 1 S 5/343 (2006.01)** HO 1 S 5/343  
 HO 1 L 33/32 (2010.01) HO 1 L 33/00 1 8 6

請求項の数 3 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平11-331297	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成11年11月22日(1999.11.22)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2001-148546(P2001-148546A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成13年5月29日(2001.5.29)	(74) 代理人	100100158
審査請求日	平成18年11月22日(2006.11.22)		弁理士 鮫島 睦
審判番号	不服2010-25289(P2010-25289/J1)	(74) 代理人	100068526
審判請求日	平成22年11月10日(2010.11.10)		弁理士 田村 恭生
		(74) 代理人	100138863
			弁理士 言上 恵一
		(74) 代理人	100145403
			弁理士 山尾 憲人
		(72) 発明者	小崎 徳也
			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】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

それぞれ  $In_xGa_{1-x}N(0 < x < 1)$  からなる井戸層と障壁層を含む多重量子井戸からなる活性層を有する窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、該井戸層と該障壁層とのバンドギャップエネルギーの差が  $0.20 eV$  以上、 $0.30 eV$  以下であることを特徴とする  $430 nm$  以上で発振する窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】

それぞれ  $In_xGa_{1-x}N(0 < x < 1)$  からなる井戸層と障壁層を含む多重量子井戸からなる活性層を有する窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、該障壁層に含まれる  $In$  の混晶比  $x$  が  $0.09$  以上、 $0.30$  以下であり、かつ該井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差が  $0.20 eV$  以上、 $0.30 eV$  以下であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】

前記窒化物半導体レーザ素子の発振波長は  $430 nm$  以上、 $480 nm$  以下であ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。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は窒化物半導体 ( $Al_bIn_dGa_{1-b-d}N$ 、 $0 < b$ 、 $0 < d$ 、 $b + d < 1$ ) よりなるレーザ素子に関する。

## 【 0 0 0 2 】

## 【 従来 の 技術 】

本発明者は、実用可能な窒化物半導体レーザ素子として、例えばJpn.J.Appl.Phys.Vol.37 (1998) pp.L309-L312、Part2, No.3B, 15 March 1998の文献(以下、従来技術文献という。)に素子構造を提案している。

## 【 0 0 0 3 】

上記文献の技術は、発振波長が400nm付近のレーザ光が得られる窒化物半導体レーザ素子を開示したもので、この素子は、サファイア上に成長させたGaN層上に、SiO<sub>2</sub>よりなる保護膜を部分的に形成し、その上から再度GaNを有機金属気相成長法(MOVPE)等の気相成長法により選択成長させ、厚膜のGaNを成長させることにより得られる結晶欠陥(以下、転位という場合がある)の少ない窒化物半導体を基板(以下、ELOG基板という場合がある)とし、このELOG基板上に、少なくとも多層膜層(超格子層)のn型クラッド層と多層膜層(超格子層)のp型クラッド層との間に、多重量子井戸構造の活性層を有してなる。このような素子構造を有するレーザ素子は、1万時間以上の連続発振を達成することができる。

10

## 【 0 0 0 4 】

ここで活性層の井戸層の組成をIn<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N(0 < d < 1)とするとバンド間発光で波長を紫外から赤外まで発光させることが可能であり、本発明者等は、窒化物半導体を用いて、例えば450nm付近の長波長のレーザ光の得られる窒化物半導体レーザ素子の実用化の研究も行っている。

20

## 【 0 0 0 5 】

長波長のレーザ光を得る方法として、例えば、上記従来技術文献に記載の素子構造において、井戸層と障壁層とで多重量子井戸を形成している活性層中の井戸層に含まれるIn混晶比を多くする、すなわちIn<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N(0 < d < 1)からなる活性層のdの値を大きくすることにより長波長の光が得られることが知られている。

## 【 0 0 0 6 】

## 【 発明 が 解決 し よ う と す る 課 題 】

しかしながら、430nmを越えるレーザ光の得られる長波長の窒化物半導体レーザ素子になってくると、井戸層に含まれるIn混晶比を大きくするだけでは、発光効率が低下したり、しきい値電流が高くなってしまい、安定した窒化物半導体レーザ素子を得るのが困難であった。

30

## 【 0 0 0 7 】

そこで本発明は430nm以上の長波長でも安定した発振をする窒化物半導体レーザ素子を得ることを目的とする。

## 【 0 0 0 8 】

## 【 課 題 を 解 決 す る た め の 手 段 】

すなわち本発明は、以下のように構成することによってその目的を達成するものである。請求項1の窒化物半導体レーザ素子は、それぞれIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0 < x < 1)からなる井戸層と障壁層を含む多重量子井戸からなる活性層を有する、430nm以上で発振する窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、該井戸層と該障壁層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20eV以上、0.30eV以下であることを特徴とする。これにより井戸層と障壁層との格子不整合を緩和し、結晶性の良好な活性層を形成することができ、かつ井戸層内にミニバンドが形成できるので、しきい値電流の低い、また発光効率の良好な窒化物半導体レーザ素子が得られる。

40

## 【 0 0 1 0 】

また請求項3の窒化物半導体レーザ素子は、それぞれIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0 < x < 1)からなる井戸層と障壁層を含む多重量子井戸からなる活性層を有する窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、該障壁層に含まれるInの混晶比xが0.09以上、0.30以下であり、かつ該井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20eV以上、0.30eV以下であることを特徴とする。これにより井戸層と障壁層との格子不整合を緩

50

和し、結晶性の良好な活性層を形成することができ、かつ井戸層内にミニバンドが形成できるので、しきい値電流の低い、また発光効率の良好な窒化物半導体レーザ素子が得られる。

【0011】

また、請求項4の窒化物半導体レーザ素子は、請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子において、発振領域は430nm以上、480nm以下であることを特徴とし、この範囲ではすべての波長においてしきい値電流を低下させることができ、さらにこの範囲ではしきい値電流が400mA以下と非常に優れた値を示す。

【0012】

【発明の実施の形態】

以下に図を用いて本発明を詳細に説明する。

図1は本発明の窒化物半導体レーザ素子の一実施の形態を示した模式的な断面図であり、レーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の図を示している。本実施の形態の窒化物半導体レーザ素子では、この図のように異種基板101上にバッファ層102、n型コンタクト層103、n型クラッド層104、n型光ガイド層105、多重量子井戸からなる活性層106、p側キャップ層107、p型光ガイド層108、p型クラッド層109、p型コンタクト層110が順に形成され、リッジストライプとなったp型コンタクト層110上にp側オーミック電極120、p側層からエッチングすることによって露出されたn型コンタクト層103上にn側オーミック電極122が形成され、さらにそのほかの露出された窒化物半導体層上にはp側オーミック電極120の一部とn側オーミック電極122の一部を覆うように絶縁膜130が覆っており、さらにp側層上にはp側オーミック電極120に接してp側パッド電極121が、n側層上にはn側オーミック電極122に接してn側パッド電極123が形成されている。

【0013】

図1のような構造で、井戸層のInの混晶比を大きくすることで、長波長で発振する窒化物半導体レーザ素子を得ることができるが、その場合障壁層に関しては、従来は井戸層内にミニバンドを形成させる必要があるため、波長が変化してもInの混晶比を変えることはなく、GaNやIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>Nなど、活性層を挟む光ガイド層やクラッド層と同じか、またはそれに近い組成を用いていた。

【0014】

しかしながら、GaNやそれに近い組成の障壁層を用いると、長波長のレーザ素子になるにつれて、井戸層と障壁層とのInの混晶比の差が大きくなる。この点に、430nmを越える窒化物半導体レーザ素子において安定したレーザ特性が得られない原因があると考え、検討した結果、本発明をなしたものである。すなわち井戸層と障壁層との間に発生する格子不整合が無視できなくなってしまう。この格子不整合が大きくなってしまうと、活性層の結晶性が悪くなってしまうため、しきい値電流の上昇や発光効率の低下などを招いてしまう。

【0015】

また、上記問題点を解決するために、障壁層のIn混晶比を井戸層のIn混晶比近くまで大きくすることにより、格子不整合は緩和されるが、大きくしすぎると井戸層内にミニバンドが形成されなくなり、活性層が多重量子井戸構造ではなくなってしまう、発光効率が大きく低下してしまう。

【0016】

そこで本発明は、それぞれIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0 < x < 1)からなる井戸層と障壁層を含む多重量子井戸からなる活性層を有し、該井戸層と該障壁層とのバンドギャップエネルギーの差を0.20eV以上、0.30eV以下とするもので、これにより井戸層と障壁層との格子不整合を緩和し、結晶性の良好な活性層を形成することができ、しきい値電流の低い、また発光効率の良好な窒化物半導体レーザ素子を得るものである。

【0017】

すなわち、本発明では、井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差を0.20e

10

20

30

40

50

V以上とすることで、井戸層内にミニバンドが形成されるようにして、量子井戸構造の本来の機能を発揮させ、0.30 eV以下とすることで井戸層と障壁層との間の格子不整合を緩和して、結晶性の悪化による特性劣化を防止しているのである。

【0018】

さらに本発明は井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギー差を0.20 eV以上、0.30 eV以下とすることで、430 nm以上、480 nm以下で発振する窒化物半導体レーザ素子のしきい値電流が400 mA以下と非常に優れた値を示す。

【0019】

本発明の窒化物半導体レーザ素子は430 nm以上で発振するレーザ素子としては活性層の井戸層に含まれるInの混晶比を0.24以上とする必要がある。この下限値である430 nmで発振するレーザ素子において井戸層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20 eV以上、0.30 eV以下の範囲となる障壁層のIn混晶比は0.09以上、0.13以下となる。

10

【0020】

また、本発明の窒化物半導体レーザ素子の長波長側の上限である480 nmにおいては、活性層の井戸層に含まれるInの混晶比を0.40とする必要があり、この井戸層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20 eV以上、0.30 eV以下の範囲となる障壁層のIn混晶比は0.24以上、0.30以下となる。

【0021】

これらから本請求項2, 3の障壁層のIn混晶比は0.09以上、0.30以下としている。

20

【0022】

本発明の請求項4では430 nm以上480 nm以下で発振する窒化物半導体レーザ素子としているが、活性層において、井戸層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20 eV以上、0.30 eV以下の範囲となる障壁層を形成すれば480 nm以上でも安定したレーザ発振は可能である。

【0023】

本発明において、 $In_dGa_{1-d}N$  ( $0 < d < 1$ ) からなるInの混晶比dは、以下に示すバンドギャップエネルギーとの関係式、

$$E_g = 3.4 \times (1 - d) + 1.95 \times d - A \times d \times (1 - d)$$

30

において、 $A = 1$ とし、その式を用いて概算された値である。

【0024】

例えば、波長が430 nmでのフォトンエネルギー ( $E_g$ ) は2.88 eVであり、上記関係式からdの値として0.23を算出し、井戸層のIn混晶比としている。

【0025】

図2は本発明において、井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差を0.25 eVとしたときの本発明に係る窒化物半導体レーザ素子のしきい値電流 (印、障壁層インジウム高混晶として示したもの) を、従来の窒化物半導体レーザ素子のしきい値電流 (x印で示したもの) と比較した図である。430 nmから480 nmにおいて、従来の窒化物半導体レーザ素子よりしきい値電流が低下していることがわかる。また、この範囲においては井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20 eV ~ 0.30 eVの範囲で従来の窒化物半導体レーザ素子よりしきい値電流が小さくなることが確認されている。個々の点については実施例1 ~ 6で示す。

40

【0026】

また、本発明の活性層において、井戸層の膜厚としては100オングストローム以下、好ましくは10オングストローム以上、70オングストローム以下であり、より好ましくは30オングストローム以上、60オングストローム以下である。また、障壁層の膜厚としては200オングストローム以下、好ましくは10オングストローム以上、150オングストローム以下であり、より好ましくは70オングストローム以上、100オングストローム以下である。

50

## 【0027】

また、本発明の活性層を構成する層は不純物をドーピングしても良く、例えば井戸層およ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。特に障壁層に不純物をドーピングさせると、しきい値が低下し好ましい。不純物としては、n型でもp型でもよく、例えばn型ではSi、p型ではMgなどが挙げられる。

## 【0028】

また、本発明の窒化物半導体レーザ素子において、活性層を構成する障壁層と井戸層の積層順としては、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、より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。

10

## 【0029】

また、本発明の窒化物半導体レーザ素子において、活性層の井戸層と障壁層との間に、障壁層よりもエネルギーギャップの大きい $Al_zGa_{1-z}N$  ( $0 < z < 1$ )よりなる中間層を少なくとも1つの井戸層上に形成しても良い。この中間層を形成することで、特にしきい値電圧を下げるができる。この中間層を形成する場合、中間層は多重量子井戸からなる活性層のすべての井戸層上に形成することが最も好ましい。

## 【0030】

次に、活性層106以外の窒化物半導体層などの他の構成について説明する。いうまでもないが、本発明は以下の構成に限られるものではない。

20

## 【0031】

基板101としてはサファイアなどの異種基板、または公知の方法によって得られたGaN基板を用いることができる。また基板101上には、GaNよりなるバッファ層102を形成することが好ましく、これによって後に基板上に形成する窒化物半導体の結晶性を良好にすることができる。このバッファ層102は異種基板上に窒化物半導体を形成するときに特に有効である。なお、異種基板とは窒化物半導体とは異なる材料からなる基板のことをいう。

## 【0032】

n型コンタクト層103はn側電極を形成するための層であって、Siなどのn型不純物をドーピングすることで、オーミック性が良好となるようにする。この層は、p側層を形成した後にp側層からエッチングしてn型コンタクト層の一部を露出させて、露出させたn型コンタクト層103上にn側電極を形成する。

30

## 【0033】

n型コンタクト層103上にクラック防止層を形成してもよく、このクラック防止層はアンドープとすることで基板側からのクラックを低減させるために形成される。またこのクラック防止層は、InGaNなどで形成し、上部n型クラッド層との屈折率差を設けることで、発光層から発せられた光が異種基板に当たって反射して再び窒化物半導体層に戻ってくるのを防ぐ層として機能させることができる。またこの層は省略してもよい。

## 【0034】

n型クラッド層104は発光層への電子の供給層であると共にキャリアおよび光を活性層に閉じこめる層としてはたらき、例えばSiなどのn型不純物をドーピングした単層、またアンドープ層とn型不純物ドーピング層とを交互に積層した超格子構造とすることができる。

40

## 【0035】

n型光ガイド層105は、多重量子井戸構造などの膜厚が薄くなった活性層106の膜厚を補うことで、活性層106とともに光導波路を構成するものである。従って、上部活性層106と屈折率差があまりなく、n型クラッド層104との屈折率差を十分に設けるような組成とする。またこの層は、例えばn型不純物をドーピングしてもよく、アンドープでもよく、n型不純物がドーピングされた層とアンドープの層との超格子としてもよい。

## 【0036】

50

活性層 106 上にある p 側キャップ層 107 は Mg などの p 型不純物を高ドーピングすることで活性層 106 に供給される n 側からの電子に対して不足しがちな正孔を補うことができる。また p 型光ガイド層 108、p 型クラッド層 109 よりも p 型不純物濃度を高くすることで、p 側キャップ層 107 上に形成される p 側層に p 型不純物が拡散するようになり好ましい。さらにこの層は活性層 106 の In の分解を抑える効果もあり、その機能を主として発揮させる場合はアンドープでもよい。また、この p 側キャップ層 107 は省略することもできる。

【0037】

p 型光ガイド層 108 は Mg などの p 型不純物が含まれた層であるが、意図的に p 型不純物をドーピングして形成するのはもちろんのこと、p 側キャップ層 107 を p 型不純物をドーピングして形成した場合は p 型不純物が p 側キャップ層 107 から拡散されるので、アンドープで形成してもよい。この p 型光ガイド層 108 は n 型光ガイド層 105 と同様に、光導波路を設けるための層で、下部活性層 106 と屈折率差があまりなく、p 型クラッド層 109 との屈折率差を十分に設けるような組成とする。

10

【0038】

p 型クラッド層 109 は発光層への正孔の供給層としてはたらしき、例えば Mg などの p 型不純物をドーピングした単層、またアンドープ層と p 型不純物ドーピング層とを交互に積層した超格子構造を用いて構成することができる。

【0039】

p 型コンタクト層 110 は p 側電極を形成する層であり、Mg などの p 型不純物を比較的多くドーピングすることで、p 側電極とのオーミック性が良好となるようにする。

20

【0040】

さらに窒化物半導体レーザ素子においては、最上層から p 側クラッド層 109 と p 側光ガイド層 108 との界面付近までエッチングを行い、幅 1.5 μm のストライプ状の導波路を形成する。このように、活性層 106 よりも上部にある層をストライプ状のリッジ形状とすることにより、活性層 106 の発光がストライプリッジの下に集中するようになってしきい値を低下させることができる。特に p 側クラッド層以上の層をリッジ形状とすることが望ましい。

【0041】

p 側電極は p 型コンタクト層 110 のリッジ最表面に形成された p 側オーミック電極 120 と、その上に形成された p 側パッド電極 121 とからなり、p 型コンタクト層 110 と好ましいオーミックが得られる p 側オーミック電極 120 の材料としては、例えば Ni、Pt、Pd、Ni/Au、Ni/Ti/Au、Pt/Au、Pd/Au 等を挙げることができる。また p 側パッド電極 121 は実質的な p 側オーミック電極 120 の表面積を広げて、p 電極側をワイヤーボンディング、ダイボンディングできるようにするためのもので Au などが挙げられる。

30

【0042】

n 側電極は n 型コンタクト層 103 上に n 側オーミック電極 122、さらにその上に n 側パッド電極 123 があり、n 型コンタクト層 103 と好ましいオーミックが得られる n 側オーミック電極 122 の材料としては Al、Ti、W、Cu、Zn、Sn、In 等の金属もしくは合金が挙げられる。また n 側パッド電極 123 は n 側オーミック電極 122 の剥がれを防止する作用があり、Au などが挙げられる。

40

【0043】

【実施例】

以下に、図 1 を用いて実施例 1 ~ 8 について説明する。なお、本発明の窒化物半導体レーザ素子は図 1 の構造に限定されるものではない。

[実施例 1]

(バッファ層 102)

2 インチ、C 面を主面とするサファイア上に公知の方法によって得られた GaN 基板 101 を MOVPE 反応容器内にセットし、トリメチルガリウム (TMG)、アンモニア (

50

$\text{NH}_3$ )を用い、 $\text{GaN}$ よりなる第1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。第1のバッファ層成長後、昇温して同じく $\text{GaN}$ よりなる第2のバッファ層を1.5 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

## 【0044】

(n側コンタクト層103)

次にアンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、 $\text{Si}$ を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{GaN}$ よりなるn側コンタクト層103を4 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

## 【0045】

(クラック防止層)

次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を800にして $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ よりなるクラック防止層を0.15 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

## 【0046】

(n側クラッド層104)

続いて、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアを用い、1050でアンドープ $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ よりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、 $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{GaN}$ よりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させる。それらの層を交互積層して超格子層を構成し、総膜厚1.2 $\mu\text{m}$ の超格子よりなるn側クラッド層104を成長させる。

## 【0047】

(n側光ガイド層105)

次に、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、同様の温度で、アンドープの $\text{GaN}$ よりなるn型光ガイド層105を750オングストロームの膜厚で成長させる。

## 【0048】

(活性層106)

次に、温度を880にして、原料ガスにTMG、TMI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、 $\text{Si}$ を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.76}\text{N}$ 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、温度を820に下げ、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.37}\text{Ga}_{0.63}\text{N}$ 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。この障壁層、井戸層をさらに2回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚550オングストロームの多重量子井戸(MQW)からなる活性層106を成長させる。このときの井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は0.25eVとなる。

## 【0049】

(p側キャップ層107)

次にTMIを止め、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を流し、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{GaN}$ よりなるp側キャップ層107を100オングストロームの膜厚で成長させる。

## 【0050】

(p側光ガイド層108)

続いて $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 、TMAを止め、1050で、アンドープ $\text{GaN}$ よりなるp側光ガイド層108を0.1 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このp型光ガイド層108は、アンドープとして成長させるが、p側キャップ層107からの $\text{Mg}$ の拡散により、 $\text{Mg}$ 濃度が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ となりp型を示す。

## 【0051】

(p側クラッド層109)

続いて $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を止め、TMAを流し、1050でアンドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAを止め、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を流し、 $\text{Mg}$ 濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ からなるアンドープ $\text{GaN}$ よりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚0.6 $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層109を成長させる。

10

20

30

40

50

## 【0052】

(p側コンタクト層110)

最後に、p側クラッド層109の上に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層110を150オングストロームの膜厚で成長させる。

## 【0053】

以上のようにして窒化物半導体を成長させたウエハーを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層110の表面に、所定の形状のマスクを介して、幅 $1.5 \mu\text{m}$ のストライプからなる $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を作製する。保護膜形成後、RIE(反応性イオンエッチング)を用い、図1に示すように、p側クラッド層109とp側光ガイド層108との界面付近までエッチングを行い、幅 $1.5 \mu\text{m}$ のストライプ状の導波路を形成する。

10

## 【0054】

ストライプ導波路形成後、 $\text{SiO}_2$ マスクをつけたまま、窒化物半導体層の表面に $\text{ZrO}_2$ よりなる絶縁膜を形成する。絶縁膜形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p側コンタクト層110上に形成した $\text{SiO}_2$ を溶解除去し、リフトオフ法により $\text{SiO}_2$ と共に、p側コンタクト110層上にある $\text{ZrO}_2$ を除去する。

## 【0055】

次にリッジ表面に $\text{SiO}_2$ マスクを形成し、RIEにてエッチングを行い、n側コンタクト層103の表面を露出させる。

## 【0056】

次にp側コンタクト層110のリッジ最表面にNiとAuよりなるp側オーミック電極120をストライプ状に形成する。

20

## 【0057】

一方、TiとAlよりなるn側オーミック電極122を先ほど露出させたn側コンタクト層103の表面にストライプ状に形成する。

## 【0058】

次に図1に示すようにp側オーミック電極120と、n側オーミック電極122との間に露出した窒化物半導体層の表面に $\text{SiO}_2$ よりなる絶縁膜130を形成し、この絶縁膜130を介してp側オーミック電極120と電氣的に接続したp側パッド電極121、およびn側オーミック電極122と電氣的に接続したn側パッド電極123を形成する。

30

## 【0059】

以上のようにして、p、n両パッド電極形成後、サファイア基板のA面に沿った、窒化物半導体のM面(窒化物半導体を六角柱で表した場合にその六角柱の側面に相当する面)でGaNを劈開してウエハーをバー状とし、そのバーの劈開面に共振面を作製する。共振面作製後、さらに共振面に垂直な方向でバー状のウエハーを切断してレーザチップとした。

## 【0060】

次に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ところ、室温においてしきい値電流は245mA、しきい値電圧4.2V、発振波長470nmの連続発振が1000時間以上の寿命で確認された。

## 【0061】

## [比較例1]

40

実施例1と比較するために、活性層を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

(活性層)

次に、温度を880にして、原料ガスにTMG、TMI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、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaN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、温度を820に下げ、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.37}\text{Ga}_{0.63}\text{N}$ 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。この障壁層、井戸層をさらに2回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚550オングストロームの多重量子井戸(MQW)からなる活性層を成長させる。このときの井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は0.77eVとなる。

50



## 【 0 0 6 2 】

以上のようにした他は実施例 1 と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は 3 5 2 m A、しきい値電圧 4 . 4 V、発振波長 4 7 0 n m の連続発振が 1 0 0 0 時間以上の寿命で確認された。

## 【 0 0 6 3 】

## [ 実施例 2 ]

実施例 1 において、活性層 1 0 6 を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

( 活性層 1 0 6 )

次に、温度を 8 8 0 にして、原料ガスに T M G、T M I 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、S i を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{In}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{N}$  よりなる障壁層を 1 0 0 オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、温度を 8 2 0 に下げ、シランガスを止め、アンドープの  $\text{In}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{N}$  よりなる井戸層を 5 0 オングストロームの膜厚で成長させる。この障壁層、井戸層をさらに 2 回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚 5 5 0 オングストロームの多重量子井戸 ( M Q W ) からなる活性層 1 0 6 を成長させる。

10

## 【 0 0 6 4 】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は 0 . 2 5 e V となり、その他活性層以外の層は実施例 1 と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は 1 4 8 m A、しきい値電圧 4 . 2 V、発振波長 4 6 0 n m の連続発振が 1 0 0 0 時間以上の寿命で確認された。

20

## 【 0 0 6 5 】

## [ 実施例 3 ]

実施例 1 において、活性層 1 0 6 を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

( 活性層 1 0 6 )

次に、温度を 8 8 0 にして、原料ガスに T M G、T M I 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、S i を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{In}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{N}$  よりなる障壁層を 1 0 0 オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、温度を 8 2 0 に下げ、シランガスを止め、アンドープの  $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$  よりなる井戸層を 5 0 オングストロームの膜厚で成長させる。この障壁層、井戸層をさらに 2 回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚 5 5 0 オングストロームの多重量子井戸 ( M Q W ) からなる活性層 1 0 6 を成長させる。

30

## 【 0 0 6 6 】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は 0 . 2 5 e V となり、その他活性層以外の層は実施例 1 と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は 1 1 6 m A、しきい値電圧 4 . 1 V、発振波長 4 5 0 n m の連続発振が 1 0 0 0 時間以上の寿命で確認された。

## 【 0 0 6 7 】

## [ 実施例 4 ]

実施例 1 において、活性層 1 0 6 を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

( 活性層 1 0 6 )

次に、温度を 8 8 0 にして、原料ガスに T M G、T M I 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、S i を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  よりなる障壁層を 1 0 0 オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、温度を 8 2 0 に下げ、シランガスを止め、アンドープの  $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{N}$  よりなる井戸層を 5 0 オングストロームの膜厚で成長させる。この障壁層、井戸層をさらに 2 回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚 5 5 0 オングストロームの多重量子井戸 ( M Q W ) からなる活性層 1 0 6 を成長させる。

40

## 【 0 0 6 8 】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は 0 . 2 5 e V となり、その他活性層以外の層は実施例 1 と同様にしてレーザ素子を作製したところ、

50

室温においてしきい値電流は80 mA、しきい値電圧4.1 V、発振波長440 nmの連続発振が1000時間以上の寿命で確認された。

【0069】

[実施例5]

実施例1において、活性層106を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

(活性層106)

次に、温度を880 Kにして、原料ガスにTMG、TMI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、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 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、温度を820 Kに下げ、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.76}\text{N}$ 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。この障壁層、井戸層をさらに2回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚550オングストロームの多重量子井戸(MQW)からなる活性層106を成長させる。

10

【0070】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は0.25 eVとなり、その他活性層以外の層は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は65 mA、しきい値電圧4.0 V、発振波長430 nmの連続発振が1000時間以上の寿命で確認された。

【0071】

[実施例6]

実施例1において、活性層106を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

(活性層106)

次に、温度を880 Kにして、原料ガスにTMG、TMI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、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{N}$ 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、温度を820 Kに下げ、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.40}\text{Ga}_{0.60}\text{N}$ 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。この障壁層、井戸層をさらに2回繰り返して積層し、最後に障壁層13を形成して、総膜厚550オングストロームの多重量子井戸(MQW)からなる活性層106を成長させる。

20

【0072】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は0.25 eVとなり、その他活性層以外の層は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は382 mA、しきい値電圧4.4 V、発振波長480 nmの連続発振が1000時間以上の寿命で確認された。

30

【0073】

[実施例7]

実施例1において、活性層106を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

(活性層)

次に、温度を880 Kにして、原料ガスにTMG、TMI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、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{N}$ 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、温度を820 Kに下げ、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.37}\text{Ga}_{0.63}\text{N}$ 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。この障壁層、井戸層をさらに2回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚550オングストロームの多重量子井戸(MQW)からなる活性層106を成長させる。

40

【0074】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は0.20 eVとなり、その他活性層以外の層は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は310 mA、しきい値電圧4.3 V、発振波長470 nmの連続発振が1000時間以上の寿命で確認された。

50

## 【0075】

## [実施例8]

実施例1において、活性層106を以下のようにしてレーザ素子を作製した。

## (活性層)

次に、温度を880にして、原料ガスにTMG、TMI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、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{N}$ 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、温度を820に下げ、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.37}\text{Ga}_{0.63}\text{N}$ 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。この障壁層、井戸層をさらに2回繰り返して積層し、最後に障壁層を形成して、総膜厚550オングストロームの多重量子井戸(MQW)からなる活性層106を成長させる。

10

## 【0076】

以上のようにすることで井戸層と障壁層とのバンドギャップエネルギーの差は0.30eVとなり、その他活性層以外の層は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、室温においてしきい値電流は283mA、しきい値電圧4.2V、発振波長470nmの連続発振が1000時間以上の寿命で確認された。

## 【0077】

## 【発明の効果】

以上説明したように、430nm以上で発振する窒化物半導体レーザ素子において、それぞれ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる井戸層と障壁層を含む多重量子井戸からなる活性層を有する窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、該井戸層と該障壁層とのバンドギャップエネルギーの差が0.20eV以上、0.30eV以下とし、また/さらに前記障壁層に含まれるInの混晶比Xを0.09以上、0.30以下、前記井戸層に含まれるInの混晶比Xを0.23以上、0.40以下とすることで、井戸層と障壁層との格子不整合を緩和し、結晶性の良好な活性層を形成することができ、しきい値電流の低い、また発光効率の良好な窒化物半導体レーザ素子を得ることができた。

20

## 【0078】

さらにこれらの窒化物半導体レーザ素子において、430nm以上、480nm以下の発振領域内において、しきい値電流は400mA以下と非常に優れた特性を有する窒化物半導体レーザ素子を得ることができた。

30

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図。

【図2】 本発明の窒化物半導体レーザと従来の窒化物半導体レーザにおける、発振波長としきい値電流との関係を示す図。

## 【符号の説明】

101・・・Ga<sub>0.19</sub>N基板(またはサファイア基板)、

102・・・バッファ層、

103・・・n型コンタクト層、

104・・・n型クラッド層、

40

105・・・n型光ガイド層、

106・・・活性層、

107・・・p側キャップ層、

108・・・p型光ガイド層、

109・・・p型クラッド層、

110・・・p型コンタクト層、

120・・・p側オーミック電極、

121・・・p側パッド電極、

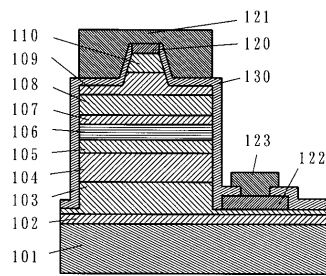
122・・・n側オーミック電極、

123・・・n側パッド電極、

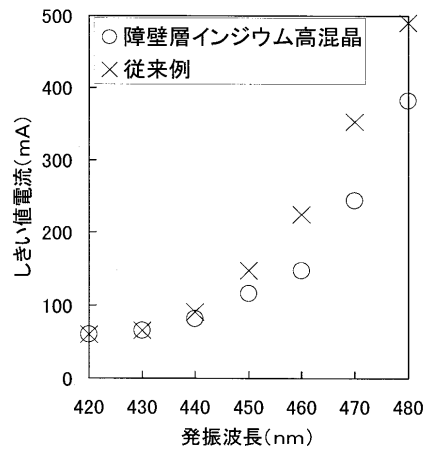
50

1 3 0 . . . 絶縁膜。

【図 1】



【図 2】



---

フロントページの続き

合議体

審判長 吉野 公夫

審判官 門田 かづよ

審判官 稲積 義登

- (56)参考文献 特開平10-229217(JP,A)  
特開平10-261838(JP,A)  
特開平09-036430(JP,A)  
特開平08-250810(JP,A)  
特開平06-268257(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00