

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5589380号
(P5589380)

(45) 発行日 平成26年9月17日 (2014.9.17)

(24) 登録日 平成26年8月8日 (2014.8.8)

(51) Int.Cl.

H01S 5/323 (2006.01)

F1

H01S 5/323 G10

請求項の数 13 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2009-297435 (P2009-297435)	(73) 特許権者	000226057 日亜化学工業株式会社 徳島県阿南市上中町岡491番地100
(22) 出願日	平成21年12月28日 (2009.12.28)		
(65) 公開番号	特開2011-138891 (P2011-138891A)	(74) 代理人	100100158 弁理士 鮫島 睦
(43) 公開日	平成23年7月14日 (2011.7.14)		
審査請求日	平成24年12月14日 (2012.12.14)	(74) 代理人	100068526 弁理士 田村 恭生
		(74) 代理人	100118681 弁理士 田村 啓
		(72) 発明者	栴井 真吾 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
		審査官	吉野 三寛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半極性面を主面とする窒化物半導体基板と、前記窒化物半導体基板の主面上に形成されたn側窒化物半導体層と、前記n側窒化物半導体層の上に形成された窒化物半導体から成る発光層を有する活性層と、前記活性層の上に形成されたp側窒化物半導体層と、を備えた窒化物半導体素子であって、

前記n側窒化物半導体層は、 $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) から成る、 In と Al を含むn側窒化物半導体層を有し、

前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層における Al の混晶比 b が0.1以上であり、かつ、

In の混晶比を横軸とし Al の混晶比を縦軸とする座標系において、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層の In の混晶比 a と Al 混晶比 b を示す座標(a , b)が式1で表される直線OAと式2で表されるOBによって挟まれた領域内にあり、

$$(Al \text{ 混晶比 } b) = 6 \times (In \text{ 混晶比 } a) \quad (\text{式1})$$

$$(Al \text{ 混晶比 } b) = 3 \times (In \text{ 混晶比 } a) \quad (\text{式2})$$

さらに、前記n側窒化物半導体層は、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層と前記活性層の間に、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、前記活性層中の前記発光層よりもバンドギャップの大きな第2のn側窒化物半導体層を有し、

前記第2のn側窒化物半導体層の上下にある界面は、前記 In と Al を含むn側窒化物

10

20

半導体層に近い側の第1の界面に線欠陥が発生しており、前記活性層に近い側の第2の界面には実質的に線欠陥が発生していないか、又は、前記第1の界面よりも線欠陥が少ないことを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】

半極性面を主面とする窒化物半導体基板と、前記窒化物半導体基板の主面上に形成されたn側窒化物半導体層と、前記n側窒化物半導体層の上に形成された窒化物半導体から成る発光層を有する活性層と、前記活性層の上に形成されたp側窒化物半導体層と、を備えた窒化物半導体素子であって、

前記n側窒化物半導体層は、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) から成る、 In と Al を含むn側窒化物半導体層を有し、

前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層における Al の混晶比 b が0.1以上であり、かつ、

In の混晶比を横軸とし Al の混晶比を縦軸とする座標系において、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層の In の混晶比 a と Al 混晶比 b を示す座標(a , b)が式1で表される直線OAと式2で表されるOBによって挟まれた領域内にあり、

$$(\text{Al混晶比 } b) = 6 \times (\text{In混晶比 } a) \quad (\text{式1})$$

$$(\text{Al混晶比 } b) = 3 \times (\text{In混晶比 } a) \quad (\text{式2})$$

さらに、前記n型窒化物半導体層は、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層と前記活性層の間に、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、前記活性層中の前記発光層よりもバンドギャップの大きな第2のn側窒化物半導体層を有し、前記第2のn側窒化物半導体層は、 In 混晶比が0.03以上であり、且つ、膜厚が400nm以上の InGaN 層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項3】

前記p側窒化物半導体層の上にp側電極が形成されており、

前記p側電極として、前記p側窒化物半導体層よりも屈折率の低い導電性酸化物層が形成され、前記導電性酸化物層が実質的に光閉じ込め層として機能す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素子。

【請求項4】

半極性面を主面とする窒化物半導体基板と、前記窒化物半導体基板の主面上に形成されたn側窒化物半導体層と、前記n側窒化物半導体層の上に形成された窒化物半導体層から成る発光層を有する活性層と、前記活性層の上に形成されたp側窒化物半導体層と、前記p側窒化物半導体層の上に形成されたp側電極とを備えた窒化物半導体素子であって、

前記n側窒化物半導体層は、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) から成る、 In と Al を含むn側窒化物半導体層を有し、さらに、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層と前記活性層の間に、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、前記活性層中の前記発光層よりもバンドギャップの大きな第2のn側窒化物半導体層を有し、前記第2のn側窒化物半導体層の上下にある界面は、前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層に近い側の第1の界面に線欠陥が発生しており、前記活性層に近い側の第2の界面には実質的に線欠陥が発生していないか、又は、前記第1の界面よりも線欠陥が少なく、

前記p側電極として、前記p側窒化物半導体層よりも屈折率の低い導電性酸化物層が形成され、前記導電性酸化物層が実質的に光閉じ込め層として機能することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項5】

前記 In と Al を含むn側窒化物半導体層の Al 混晶比 b が0.2以上であり、 In の混晶比 a が0.3以下であることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】

最もn側にある前記発光層からn側において光閉じ込め層として機能する層までの距離 d_n を、最もp側にある前記発光層から前記導電性酸化物層までの距離 d_p よりも30nm以上大きくしたことを特徴とする請求項3乃至5のいずれかに記載の窒化物半導体素子

10

20

30

40

50

。

【請求項 7】

前記導電性酸化物が、 In 、 Zn 、 Sn 及び Mg から成る群から選択された少なくとも 1 種を含む酸化物であることを特徴とする請求項 3 乃至 6 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】

前記導電性酸化物が、 ITO であることを特徴とする請求項 7 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】

前記窒化物半導体素子は、窒化物半導体レーザダイオードであり、

10

前記 p 側窒化物半導体層は、 $\text{In}_{a'}\text{Al}_{b'}\text{Ga}_{1-a'-b'}\text{N}$ ($0 < a' < 1$ 、 $0 < b' < 1$ 、 $0 < a' + b' < 1$) から成る In と Al を含む p 側窒化物半導体層と、 AlGaIn 、 InGaIn 及び GaIn から成る群から選択された 1 種とを交互に積層し、p 型不純物を含む p 側超格子層を有す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素子。

【請求項 10】

前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層の膜厚が、400 nm 以上、2000 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】

前記窒化物半導体素子は、窒化物半導体レーザダイオードであり、該窒化物半導体レーザダイオードの発振波長は、500 nm 以上、580 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

20

【請求項 12】

前記半極性面は、 $\{11-2n\}$ 面 (ただし n は 0 以外の整数又は $n = \pm 1/2$ 、 $\pm 1/3$ 、 $\pm 1/4$) 又は $\{1-10m\}$ 面 (ただし、 m は 0 以外の整数又は $m = \pm 1/2$ 、 $\pm 1/3$ 、 $\pm 1/4$) であることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載された波長 500 ~ 580 nm で発振する窒化物半導体レーザダイオードである窒化物半導体素子と、波長 440 ~ 480 nm で発振する窒化物半導体レーザダイオードと、波長 600 ~ 660 nm で発振する半導体レーザダイオードとを有するディスプレイ装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本件発明は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x+y < 1$) で表される窒化物半導体を用いた窒化物半導体素子に関する。

【背景技術】

【0002】

化合物半導体を用いた半導体レーザダイオードは、大容量、高密度の情報記録 / 再生が可能な光ディスクシステム等に広く利用されている。一方、半導体レーザダイオードの新たな応用として、青、緑、赤色の半導体レーザを組み合わせることによるフルカラーディスプレイの実現が期待されている。

40

【0003】

光の 3 原色である青、緑、赤色のうち、青色と赤色の半導体レーザダイオードは、III-V 族化合物半導体である InAlGaIn や AlInGaP を用いて既に実用化されている。これに対して、緑色のレーザは、第 2 次高調波 (SHG) により波長を変換することで緑色の発光を可能にしたレーザは開発されているものの、直接、緑色を発光可能な素子は、未だ実用化されていない。

【0004】

緑色を直接発光可能な半導体レーザダイオードとしては、1993 年頃に II-VI 族化合物半導体を用いたレーザダイオードが報告されたが、高電流下での信頼性に乏しく、実

50

用には至らなかった。そこで近年では、III-V族窒化物半導体を用いて緑色を直接発光する半導体レーザダイオードを実現することが期待されている。

【0005】

III-V族窒化物半導体としては、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$)、特にInGaNから成る発光層（以下、単に「InGaN発光層」）を用いた紫外～青色発光の半導体レーザダイオードが既に実用化されており（特許文献1等）、そのInGaN発光層のIn含有率を高めてバンドギャップを小さくし、発光波長を長波長化すれば、緑色での発光が可能となる。

【0006】

例えば、GaN基板のC面上において、In含有率の高いInGaN発光層の結晶性を成長条件の工夫によって改善し、InGaN発光層を用いた半導体レーザダイオードにおいて515nmまでの室温連続発振に成功したことが報告されている（非特許文献1）。

10

【0007】

一方、GaN基板のC面は極性面であるため、活性層にピエゾ分極が生じ発光再結合の確率が低下することが指摘されており、その問題を解消するためにGaN基板の{20-21}面のような半極性面に窒化物半導体レーザダイオードを作成することが報告されている（非特許文献2）。この文献では、4元InAlGaInクラッド層を用いてリッジ導波路構造の窒化物半導体レーザダイオードを製造することにより波長520nmでの室温連続発振に成功したとされている。

【0008】

20

尚、従来の青紫色や青色発光する窒化物半導体レーザダイオードにおいて、p側電極にITO等の導電性酸化物を用い、その導電性酸化物によってp側クラッド層を兼ねることが提案されている（特許文献2、3）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】国際特許公開WO2002-05399号公報

【特許文献2】特開平9-74249号公報

【特許文献3】特開2009-117695号公報

【非特許文献】

30

【0010】

【非特許文献1】T. Miyoshi et al., "510-515 nm InGaIn-Based Green Laser Diodes on c-Plane GaN substrate", Applied Physics Express 2(2009)、062201

【非特許文献2】Y. Yoshizumi et al., "Continuous-Wave Operation of 520 nm Green InGaIn-Based Laser Diodes on Semi-Polar {20-21} GaN substrates", Applied Physics Express 2(2009)092101

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、GaN基板の半極性面上に窒化物半導体レーザを作成した場合、線状の結晶欠陥（以下、単に「線欠陥」）が発生しやすいという問題が生じる。即ち、GaN基板の半極性面はC面に比べて表面に存在するGa原子又はN原子の面内密度が低いため、Ga原子同士又はN原子同士の間に余分な原子が入り込み易い。このためGaN基板の半極性面に窒化物半導体層を積層すると、格子不整合のある各界面において界面に平行な方向に線欠陥が発生し易い。

【0012】

50

また、一般に窒化物半導体レーザでは、 AlGaIn 層や $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 超格子層をクラッド層に用いて光閉じ込めを行うことが多いが、それらの半導体層が持つ屈折率には波長分散があり、レーザの発振波長が長波長になるほど光閉じ込めが弱くなる。したがって、レーザの発振波長の長波長化に伴って、クラッド層の Al 混晶比を高める必要がある。ところが、 Al 混晶比の高い AlGaIn 層や $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 超格子層を十分な膜厚に成長しようとする、 AlGaIn 層や $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 超格子層にクラックが発生する問題もある。

【0013】

こうした線欠陥やクラックの問題を解決するため、非特許文献2では4元混晶である InAlGaIn をクラッド層に用いている。4元混晶である InAlGaIn をクラッド層に用いることにより、 Al 混晶比を高めた場合でも、 GaIn 基板との格子定数差を小さくでき、線欠陥やクラックの発生が抑制できる。

10

【0014】

しかしながら、本件発明者が種々の混晶比を持つ InAlGaIn クラッド層を用いて実験を繰り返したところ、線欠陥やクラックの発生しないように混晶比が調整された InAlGaIn を用いても、レーザの動作電圧が高いなどの電気光学特性が十分でない問題があった。

【0015】

また、非特許文献2の窒化物半導体レーザダイオードでは、 n 側クラッド層と p 側クラッド層に InAlGaIn 層を用いているが、発振波長を長波長化するために InAlGaIn クラッド層の Al 混晶比を高めていくと、 p 側クラッド層の抵抗が高くなり、レーザの動作電圧が上昇する問題もあった。

20

【0016】

そこで本件発明は、上記問題点の少なくとも1つを解決し、窒化物半導体基板の半極性面に形成された長波長窒化物半導体レーザにおいて、動作電圧などの電気光学特性を改善することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記課題を解決するために、本件発明の第1の側面における窒化物半導体素子は、半極性面を主面とする窒化物半導体基板と、前記窒化物半導体基板の主面上に形成された n 側窒化物半導体層と、前記 n 側窒化物半導体層の上に形成された窒化物半導体から成る発光層を有する活性層と、前記活性層の上に形成された p 側窒化物半導体層と、を備えた窒化物半導体素子であって、

30

前記 n 側窒化物半導体層は、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) から成る、 In と Al を含む n 側窒化物半導体層を有し、

前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層における Al の混晶比 b が0.1以上であり、かつ、

In の混晶比を横軸とし Al の混晶比を縦軸とする座標系において、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層の In の混晶比 a と Al 混晶比 b を示す座標 (a, b) が式1で表される直線 OA と式2で表される OB によって挟まれた領域内にあり、

40

$$(\text{Al混晶比 } b) = 6 \times (\text{In混晶比 } a) \quad (\text{式1})$$

$$(\text{Al混晶比 } b) = 3 \times (\text{In混晶比 } a) \quad (\text{式2})$$

さらに、前記 n 側窒化物半導体層は、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層と前記活性層の間に、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、前記活性層中の前記発光層よりもバンドギャップの大きな第2の n 側窒化物半導体層を有し、

前記第2の n 側窒化物半導体層の上下にある界面は、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層に近い側の第1の界面に線欠陥が発生しており、前記活性層に近い側の第2の界面には実質的に線欠陥が発生していないか、又は、前記第1の界面よりも線欠陥が少ないことを特徴とする。

50

【 0 0 1 8 】

また、本件発明の第 2 の側面における窒化物半導体素子は、半極性面を主面とする窒化物半導体基板と、前記窒化物半導体基板の主面上に形成された n 側窒化物半導体層と、前記 n 側窒化物半導体層の上に形成された窒化物半導体層から成る発光層を有する活性層と、前記活性層の上に形成された p 側窒化物半導体層と、前記 p 側窒化物半導体層の上に形成された p 側電極とを備えた窒化物半導体素子であって、

前記 n 側窒化物半導体層は、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) から成る、 In と Al を含む n 側窒化物半導体層を有し、さらに、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層と前記活性層の間に、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層よりもバンドギャップが小さく、前記活性層中の前記発光層よりもバンドギャップの大きな第 2 の n 側窒化物半導体層を有し、前記第 2 の n 側窒化物半導体層の上下にある界面は、前記 In と Al を含む n 側窒化物半導体層に近い側の第 1 の界面に線欠陥が発生しており、前記活性層に近い側の第 2 の界面には実質的に線欠陥が発生していないか、又は、前記第 1 の界面よりも線欠陥が少なく、

10

前記 p 側電極として、前記 p 側窒化物半導体層よりも屈折率の低い導電性酸化物層が形成され、前記導電性酸化物層が実質的に光閉じ込め層として機能することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 9 】

本件発明によれば、窒化物半導体基板の半極性面に形成された長波長発光可能な窒化物半導体素子の動作電圧を下げ、電気光学特性を顕著に向上できる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図 1】図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る窒化物半導体素子の一例を示す模式断面図である。

【図 2】図 2 は、図 1 の窒化物半導体素子の導波路部分を拡大した模式断面図である。

【図 3】図 3 (a) は、{ 2 0 - 2 1 } 面を主面とする GaN 基板の上に GaN 層と AlGaIn 層を成長した場合のカソードルミネッセンス像 (CL 像) であり、図 3 (b) は、{ 2 0 - 2 1 } 面を主面とする GaN 基板の上に GaN 層と InAlGaIn 層を成長した場合のカソードルミネッセンス像 (CL 像) である。

【図 4】図 4 (a) は、{ 2 0 - 2 1 } 面を主面とする GaN 基板の上に形成された $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 層、GaN 層、 $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 層の断面写真であり、図 4 (b) は、{ 2 0 - 2 1 } 面を主面とする GaN 基板の上に形成された $\text{In}_{0.04}\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 層、GaN 層、 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 層の断面写真である。

30

【図 5】図 5 は、InAlGaIn 層の表面状態を In 混晶比を横軸、Al 混晶比を縦軸とする 2 次元座標系に示したグラフである。

【図 6】図 6 は、{ 2 0 - 2 1 } 面を主面とする GaN 基板の上に、GaN 層を介して成長した $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ 層の表面を観察したものであり、(a) は通常の光学顕微鏡写真、(b) は蛍光顕微鏡写真である。

【図 7】図 7 は、実施の形態 1 に係る窒化物半導体素子のリッジ付近の形状を示す部分拡大断面図である。

40

【図 8】図 8 は、本発明の実施の形態 2 に係る窒化物半導体素子の導波路部分を拡大した模式断面図である。

【図 9】図 9 は、図 1 に示した窒化物半導体素子の変形例を示す模式断面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、本件発明の好ましい実施形態について図面を参照しながら説明する。各図面は模式図であり、そこに示された配置、寸法、比率、形状等は実際と異なる場合がある。

【 0 0 2 2 】

実施の形態 1

50

図1は、実施の形態1に係る窒化物半導体素子を示す模式断面図であり、端面発光型の窒化物半導体レーザダイオードである。GaNから成り、半極性面を主面とする窒化物半導体基板2の上に、Si等のn型不純物を含むn側窒化物半導体層4、活性層6、Mg等のp型不純物を含むp側窒化物半導体層8が積層され、p側窒化物半導体層8の一部に導波路を構成するためのリッジ36が形成されている。リッジ36の周囲は埋め込み層46で覆われており、さらに別の保護膜48が形成されている。リッジ36の上端に露出したp側窒化物半導体層8にNi、Ti及びAuを含む部材から成るp側電極38が形成され、さらにp側電極38に接しながら、リッジ36を被覆するようにp側パッド電極40が形成されている。一方、上面からのエッチングによってn側窒化物半導体層4の一部が露出され、その露出面にn側電極42が形成されている。ただし、図9に示すように、窒化物半導体基板を導電性基板として、基板の裏面側にn側電極42を形成した構造としてもよい。

【0023】

図2は、図1に示す窒化物半導体レーザダイオードの導波路部分を拡大した模式断面図である。図2に示す通り、n側窒化物半導体層4として、InとAlを含む窒化物半導体である $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) から成るn側クラッド層16 (= InをAlを含むn側窒化物半導体層) と、n側光ガイド層18が形成されている。n側光ガイド層は、GaNから成る第1光ガイド層18aと、InGaNから成る第2光ガイド層18bの2層を積層して成る。活性層6は、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) から成る窒化物半導体層を有するものであり、例えばInGaNから成る井戸層24a、bとInGaN又はGaNから成る障壁層22a、bとを交互に積層した多重量子井戸構造となっており、InGaN井戸層24a、bが発光層となる。また、p側窒化物半導体層8として、活性層6に近い側から順に、Alを含む窒化物半導体層26、GaNまたはInGaNから成るp側光ガイド層28、 $In_{a'}Al_{b'}Ga_{1-a'-b'}N$ ($0 < a' < 1$ 、 $0 < b' < 1$ 、 $0 < a' + b' < 1$) から成るInとAlを含むp側窒化物半導体層とGaNとを交互に積層したp側超格子層から成るp側クラッド層32、p側コンタクト層34が積層されている。図1及び2に示す層構成を持つストライプ構造が、共振器本体を構成する。

【0024】

ここで窒化物半導体基板2の半極性面とは、C面などの極性面と、A面やM面などの非極性面の間にある面を指し、C面とのなす角度が ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) となる面である。図1及び図2に示す窒化物半導体レーザでは、半極性面を主面とする窒化物半導体基板を用いることにより、活性層に生じるピエゾ分極を防止して、発光再結合の確率低下を抑制することができる。しかしながら、一般に、半極性面では、C面に比べてGa原子の面内密度が低いため、Ga原子同士の間には別の原子が入り込み易い。このため窒化物半導体基板の半極性面に窒化物半導体層を積層すると、格子不整合のある各界面において界面に平行な方向に線欠陥が発生し易いという問題が生じる。例えば、GaNのA面からC面方向に傾いた半極性面では、 $[10-10]$ 方向の線欠陥が発生し、M面からC面方向に傾いた半極性面では、 $[11-20]$ 方向に線欠陥が発生する。

【0025】

図3(a)は、 $\{20-21\}$ 面を主面とするGaN基板の上に、GaN層 $2\mu m$ とAlGaN層 $0.5\mu m$ を成長した場合に発生する線欠陥を示すカソードルミネッセンス像(CLI像)である。 $[11-20]$ 方向に線欠陥が発生しているのがわかる。また、図4(a)は、 $\{20-21\}$ 面を主面とするGaN基板の上に、GaN層、Al $_{0.08}$ Ga $_{0.92}$ N層、GaN層、In $_{0.04}$ Ga $_{0.96}$ N層、活性層を順に積層した構造におけるAl $_{0.08}$ Ga $_{0.92}$ N層、GaN層、In $_{0.04}$ Ga $_{0.96}$ N層の断面写真である。各層の界面にコントラストの暗い部分があり、線欠陥が走っているのがわかる。

【0026】

窒化物半導体レーザでは、AlGaN層やAlGaN/GaN超格子層をクラッド層に

10

20

30

40

50

用いて光閉じ込めを行うことが多いが、それらの半導体層が持つ屈折率には波長分散があるため、レーザの発振波長の長波長化に伴って、クラッド層のAl混晶比を高める必要がある。例えば、レーザの発振波長を500nm以上とした場合、クラッド層のAl混晶比は少なくとも0.06以上であることが望ましい。しかし、n側クラッド層16のAl混晶比を高くするほど、窒化物半導体基板2を構成するGaNやn側クラッド層16の上にあるInGaN層とn側クラッド層16との格子定数差が大きくなるため、上記の線欠陥の問題は顕著になる。また、膜厚が厚いほど、線欠陥は発生しやすい。図3(a)の例では、AlGaN層の膜厚が0.5μmであるため、Al混晶比が0.02以上ですでに線欠陥が発生してしまう。

【0027】

10

また、Al混晶比が高くなり、窒化物半導体基板2とn側クラッド層16との格子定数差が大きくなると、n側クラッド層16に加わる応力が大きくなる。このため、Al混晶比の高いAlGaN層やAlGaN/GaN超格子層を用いた場合、n側クラッド層16にクラックが発生し易いという問題もある。例えば、AlGaN層をn側クラッド層16に用いた場合、Al混晶比が0.1以上になればn側クラッド層16にクラックが発生してしまう。

【0028】

そこで本実施の形態に係る窒化物半導体レーザダイオードでは、窒化物半導体基板2の上にInとAlを含む窒化物半導体である $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$)を用いてn側クラッド層16を形成している。このInとAlを含む窒化物半導体層(4元混晶であるInAlGaN層又は3元混晶であるInAlN層)は、Al混晶比を高くすることで屈折率が小さくできるが、同時にInを含むことで格子定数がGaNに近づき、結晶自身も柔らかくなる。このためAl混晶比を0.1以上に高くした場合であっても、各界面における線欠陥の発生やn側クラッド層におけるクラックの発生を抑制することができる。

20

【0029】

例えば、図3(b)は、図3(a)の3元AlGaN層に代えて、4元混晶である $In_{0.03}Al_{0.14}Ga_{0.83}N$ を成長した場合のCL像であるが、図3(a)で発生していた線欠陥が解消していることがわかる。また、図4(b)は、図4(a)の3元 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ 層に代えて、4元混晶である $In_{0.04}Al_{0.14}Ga_{0.82}N$ 層を成長し、 $In_{0.04}Ga_{0.96}N$ 層に代えて、 $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ 層を成長したものを示す。図4(a)で見られた界面の暗いコントラストが消え、各界面での格子定数差が緩和されて線欠陥が抑制されることがわかる。

30

【0030】

しかしながら、本件発明者が種々検討したところ、InとAlを含む窒化物半導体層である $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ から成るn側クラッド層16のIn混晶比とAl混晶比を線欠陥やクラックの発生しないように設定した場合であっても、窒化物半導体レーザが満足な電気光学特性を示さないことがわかった。そこで、さらに検討を重ねた結果、その原因が $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ 層に発生する内部クラックやIn組成ゆらぎにあることを見出した。

40

【0031】

図5は、{20-21}面を主面とするGaN基板の上に、GaN層を2μmと $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ 層を0.2~0.5μm積層し、In混晶比aとAl混晶比bを種々変化させながら $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ 層の状態を評価した結果である。図5は、Inの混晶比を横軸としAlの混晶比を縦軸とする座標系を示しており、Inの混晶比aとAl混晶比bを示す座標点(a, b)をプロットしたものである。図5において、黒塗りで示した点(●)は、線欠陥の発生した点である。四角(□)で示した点は表面にクラックが発生した点、三角(△)で示した座標点は、 $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ 層に内部クラックが発生した場合を示している。バツ(x)で示した座標点は、 $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ 層にIn偏析による異常成長が観察された点である。また、実際のL

50

D素子として成長する際にはAlInGaN成膜後、成長温度を高温に保ったまま他の層を成膜するために、AlInGaN層が徐々に分解してしまうことがある。この点も同様にxで示した。丸()で示した座標点は、内部クラックやIn偏析による異常成長が観察されない点を表す。

【0032】

ここで内部クラックとは、結晶の内部に存在し、結晶の表面からは観察されない微細なクラックを指す。内部クラックは、通常の光学顕微鏡観察では確認できないが、UV光を照射しながら蛍光顕微鏡で観察すれば確認することができる。図6(a)及び(b)は、{20-21}面を主面とするGa_{0.02}N基板の上に、Ga_{0.64}N層2μmを介して0.5μmの膜厚で成長したIn_{0.34}Al_{0.34}Ga_{0.64}N層の表面を観察したものであり、図6(a)は通常の光学顕微鏡写真で、図6(b)は波長260nm~380nmのUV光を照射しながら観察した蛍光顕微鏡写真である。図6(a)及び(b)に示される通り、表面にはクラックが発生していないが、結晶内部には微細な線状クラックが発生していることがわかる。

【0033】

図5に示されるように、直線OAよりも上の領域では、Al混晶比が大きくなる結果、内部クラックが発生する。直線OA上では、(Al混晶比b):(In混晶比a)=6:1、即ち(Al混晶比b)=6×(In混晶比a)の関係が成り立つ。窒化物半導体のC面にAl混晶比の大きなAlGa_{0.64}Nを成長した場合には、通常の結晶表面に現れるクラックが発生していたが、窒化物半導体の半極性面にAl混晶比の大きなInAlGa_{0.64}Nを成長した場合、通常のクラックが発生しない条件であっても、結晶の外側から観察できない内部クラックが発生する。この内部クラックの発生原因が不明であるが、膜厚方向の組成ゆらぎによって局所的に引っ張り歪み加わり、発生した微細なクラック同士が内部でつながって、結晶内部で歪みが解消していると推定される。内部クラックが発生すると、動作電圧等の電気光学特性が悪化してしまう。

【0034】

一方、図5の直線OBよりも下の領域では、In混晶比が大きくなる結果、Inの偏析や異常成長が発生し易くなる。直線OB上では、Al混晶比b:In混晶比a=3:1、即ち(Al混晶比b)=3×(In混晶比a)の関係が成り立つ。InAlGa_{0.64}Nの結晶成長では、In源とAl源を同時に供給することになるが、AlとInは反応性が高いため、Al混晶比に対するIn混晶比の割合が高くなるとAlとInが激しく反応してInAlGa_{0.64}N層内のIn組成ゆらぎが促進される。このため図5の直線OBよりも下の領域では、In偏析や異常成長が発生するものと考えられる。

【0035】

そこで本実施の形態では、n側クラッド層16をIn_aAl_bGa_{1-a-b}Nを用いて形成する際に、In混晶比aとAl混晶比bの座標点(a,b)が図5の直線OAと直線OBで挟まれる領域内に位置するように組成を調整する。これによってInAlGa_{0.64}N層への内部クラックの発生やIn組成ゆらぎを抑制して、窒化物半導体レーザの動作電圧等の電気光学特性を向上することができる。(11-22)、(10-11)、(10-12)、(11-21)、(22-41)面等においても同様の実験を行ったが、その結果から、他の半極性面においても同じ効果が得られると考えられる。

【0036】

以下、本実施の形態に係る窒化物半導体レーザダイオードの各構成について詳しく説明する。

(窒化物半導体基板2)

本実施の形態では、窒化物半導体基板の半極性面を使う。上記の通り、窒化物半導体基板2の半極性面とは、C面などの極性面とA面やM面などの非極性面の間にある面を指し、C面とのなす角度が(0°< <90°)となる面である。C面となす角度は、20°<90°であることが好ましい。さらに、窒化物半導体基板の{0001}面と{10-14}面とのなす角度(約25°)以上であることがより好ましい。さらに望ま

10

20

30

40

50

しくは窒化物半導体の半極性面は、 $\{1\ 1 - 2\ n\}$ 面（ただし n は 0 以外の整数又は $n = \pm 1/2$ 、 $\pm 1/3$ 、 $\pm 1/4$ ）又は $\{1 - 1\ 0\ m\}$ 面（ただし、 m は 0 以外の整数又は $m = \pm 1/2$ 、 $\pm 1/3$ 、 $\pm 1/4$ ）である。例えば、 n が分数となる場合は、カッコ内が整数になるように分母を掛けて整数として考える。

【0037】

窒化物半導体基板 2 は、3 元又は 2 元混晶の窒化物半導体から成ることが好ましく、より好ましくは GaN から成ることが望ましい。窒化物半導体から成る基板は、熱伝導率がサファイアに比べて高いため放熱効率の向上が可能であり、転位等の欠陥を低減して結晶性を良好にすることができる。窒化物半導体基板 2 における転位密度は低い方が、井戸層 24a、b の面状態が改善され、ライフ特性も向上する。InGa_N 発光層を用いた半導体レーザダイオードは、他の材料系に比べると転位によるライフ特性の低下が比較的緩やかであるが、やはり転位に対する依存性がある。また、窒化物半導体基板 2 の転位密度が少ない方が ESD 耐性も高くなる。窒化物半導体基板 2 の転位密度は、 $1 \times 10^7\ \text{cm}^{-2}$ 以下、より好ましくは $5 \times 10^6\ \text{cm}^{-2}$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^5\ \text{cm}^{-2}$ 以下とすることが望ましい。なお、窒化物半導体基板 2 の転位密度は、窒化物半導体層を成長すべき主面における転位密度（貫通転位）で考える。

【0038】

窒化物半導体基板 2 としては、種々の方法で製造したものを使用できる。例えば、サファイア等の異種基板上にハイドライド気相成長法（HVPE 法）等によって窒化物半導体層を厚膜に成長した後、異種基板を除去して窒化物半導体から成る基板を得ても良い。また、サファイア等の異種基板上に窒化物半導体層を成長させる際、公知の横方向成長方法を用いて窒化物半導体の転位密度を低減しても良い。適切な種結晶を用いて成長させた窒化物半導体結晶のインゴットから切り出したウエハを基板 2 としても良い。

【0039】

（n 側窒化物半導体層 4）

（1）n コンタクト層 50

窒化物半導体基板 2 は、導電性を有していても、絶縁性であっても良い。絶縁性の基板を用いる場合には、基板上に n 型不純物を含む導電性の n コンタクト層 50 を形成する。その上に n 側クラッド層 16 などの窒化物半導体層を積層し、上面からのエッチングによって n コンタクト層 50 の一部を露出させ、その露出面に n 側電極 42 を形成する。なお、半極性面は C 面に比べて成長温度を上げたり、その状態で長時間の待機時間があると、特に表面が分解しやすく表面荒れが生じやすい。特に研磨仕上げの GaN 基板からの再成長をする場合にはその分解は顕著である。そのため、第 1 の n 型半導体層を形成する前に、GaN 層を成長させることが好ましい。また、導電性の基板を用いる場合であっても、窒化物半導体基板 2 と第 1 の n 型半導体層との間に、GaN 層を有することが好ましい。もし、表面状態が荒れたまま第 1 の n 側半導体層である InAlGa_N、または InAlN を成長すると、表面の凹凸や欠陥により In 等が部分的に多く取り込まれ、混晶のムラが生じ結晶状態を悪化させてしまう。このため、結晶成長中に InAlGa_N、または InAlN を層を成長する下の層は、平坦な表面状態および良好な結晶状態となりやすい GaN 層が好ましい。

【0040】

（2）n 側クラッド層 16（第 1 の n 側窒化物半導体層）

本実施の形態において、n 側クラッド層 16 は、In と Al を含む窒化物半導体である $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ （ $0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$ ）によって形成する。500 nm 以上の長波長における光閉じ込めを実現するために、Al 混晶比 b は少なくとも 0.1 以上であることが好ましく、より好ましくは 0.14 以上、さらに好ましくは 0.20 以上とする。なお、Al 混晶比 b が 0.1 以上であるとき、In 混晶比 a が 0.9 以下であることは言うまでもない。また、前述の通り、In 混晶比 a と Al 混晶比 b は、座標点（ a 、 b ）が図 5 の直線 OA と OB に挟まれる領域内にあるように選定する。ただし、この条件を充足する場合であっても、Al 混晶比 b が高すぎると 3 次元成長が発

10

20

30

40

50

生しやすくなり表面が荒れてしまう。また、通常のクラックも発生し易くなる。このため、Al混晶比bが0.6以下、より好ましくは0.5以下であることが望ましい。

【0041】

n側クラッド層16の膜厚は、少なくとも0.4 μm以上、より好ましくは0.7 μm以上、さらに好ましくは1.0 μm以上であることが望ましい。n側クラッド層16の膜厚が不十分であると、光の閉じ込めが不足するからである。一方、n側クラッド層16が厚すぎると結晶性が低下するため、n側クラッド層16の膜厚は2.0 μm以下であることが望ましい。n側クラッド層16は、次に形成するn側光ガイド層18よりも大きなバンドギャップを持つようにする。また、n側光ガイド層18が省略された場合は、障壁層22a、bよりも大きなバンドギャップを持つようにする。

【0042】

(3) n側光ガイド層18 (第2のn側窒化物半導体層)

n側光ガイド層は、n側クラッド層16よりもバンドギャップが小さく、井戸層24a、bよりもバンドギャップの大きな窒化物半導体から成る。n側光ガイド層18は、GaN又はInGaNとすることが好ましい。本実施の形態では、窒化物半導体基板の半極性面を用いるため、n側光ガイド層18とn側クラッド層16や活性層6との間の格子定数差が大きい場合は、それら界面に線欠陥が発生する。したがって、n側光ガイド層18に用いるInGaNのIn混晶比は、線欠陥が発生しない程度にすることが望ましい。例えば、光ガイド層18に用いる窒化物半導体のIn混晶比は、0.03以下、より好ましくは0.02以下とすることが望ましい。n側光ガイド層18は、光吸収を抑制しながら活性層6への電子の供給を十分に行うため、(i)活性層6から遠く、n型不純物をドーピングして成長した第1のn側光ガイド層18aと、(ii)活性層6に近く、n型不純物をドーピングせずに成長した第2のn側光ガイド層18bに分けることが好ましい。本実施の形態では、GaNから成る第1のn側光ガイド層18aと、InGaNから成る第2のn側光ガイド層18bとを形成する。このように、n側光ガイド層18のうち、第1のn側光ガイド層18aをGaNから成る層とすることにより、n側InAlGaNクラッド層またはn側InAlNクラッド層成長時に多少の表面荒れが生じた場合であっても、その上に成長させるGaN層によって表面状態および結晶状態を回復させ、その上の第2のn側光ガイド層18bを結晶性良く成長させることができる。n側光ガイド層18は、合計で100~700 nmの膜厚で形成、より好ましくは合計で200~600 nmの膜厚で形成することが好ましい。尚、n側光ガイド層18は、省略することもできる。その場合は、活性層6の最もn側に障壁層を形成し、その障壁層の膜厚を他の障壁層よりも厚くすることが好ましい。

【0043】

(活性層6)

活性層6としては、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$)を含む発光層を有するものであれば好ましく、図1に示した多重量子井戸構造の活性層の他に、単一量子井戸構造の活性層、薄膜の発光層単体から成る活性層などを用いることができる。量子井戸構造の場合は、井戸層24a、bが発光層となる。発光層は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$)を含むものが好ましいが、より好ましくはInGaNとする。尚、本件明細書において「発光層」とは、電子と正孔が発光再結合する層を指す。

【0044】

発光層の発光波長は、実施例で具体的に説明するようにIn含有率によって制御することができる。尚、In含有率が高い井戸層の場合、井戸層の分解を抑制するために各井戸層の上側に井戸キャップ層(図示せず)を設けることが好ましい。井戸キャップ層は、膜厚は1~5 nmの範囲で、Al含有率が0~50%のAlInGaN、より好ましくはAl含有率が0~30%のAlGaNとすることが望ましい。井戸キャップ層は、井戸層と障壁層の間に形成する。

【0045】

活性層 6 の発光層は、薄い方が閾値電流を低下させることができ、障壁層との格子定数不整も緩和し易くなるが、薄くし過ぎるとキャリアの閉じ込めが不十分となる。そこで発光層の膜厚は、1.0 nm 以上、より好ましくは 2.0 nm 以上、5.0 nm 以下、より好ましくは 4.0 nm 以下とすることが望ましい。活性層 6 の発光層には、n 型不純物がドーピングされていても、いなくても良い。しかしながら、In を含む窒化物半導体は n 型不純物濃度が大きくなると結晶性が悪化する傾向にあるため、n 型不純物濃度を低く抑えて結晶性の良好な発光層とすることが好ましい。

【0046】

活性層 6 を多重量子井戸構造とすれば、出力の向上、発振閾値の低下などが図ることが可能となる。活性層 6 が多重量子井戸構造から成る場合、井戸層と障壁層が交互に積層されていれば、最初と最後の層は井戸層でも障壁層でも良い。また、多重量子井戸構造において、井戸層に挟まれた障壁層は、特に 1 層であること（井戸層 / 障壁層 / 井戸層）に限るものではなく、2 層若しくはそれ以上の層の障壁層を、「井戸層 / 障壁層 (1) / 障壁層 (2) / ... / 井戸層」というように、組成・不純物量等の異なる障壁層を複数設けても良い。

【0047】

量子井戸構造の活性層 6 に用いる障壁層 22a、b としては、特に限定されないが、井戸層 24a、b より In 含有率の低い窒化物半導体、GaN、Al を含む窒化物半導体などを用いることができる。より好ましくは、InGa_N、GaN 又は AlGa_N を含むことが望ましい。障壁層 22a、b の膜厚や組成は、量子井戸構造中で全て同じにする必要はない。本実施の形態においても、p 側にある障壁層 22b を井戸層 24a、b の間に挟まれた障壁層 22a よりも厚くしている。本実施の形態では、障壁層 22a、b と井戸層 24a、b は、結晶性を良好にするため n 型不純物をドーピングせずに成長している。

【0048】

尚、本実施の形態では、井戸層 24a、b の数を 2 層、障壁層 22a、b の数を 2 層としたが、本件発明はこれに限定されない。例えば、井戸層 24a、b の数を 2 層ではなく、3 層又は 4 層等、より多い数に増やしても良い。一般には発振波長が長波長になるほど、活性層 6 における転位発生を抑制するために井戸層の厚みを薄くする必要がある。井戸層の数を増やせば、より薄い膜厚の井戸層を用いても活性層 6 全体としてキャリア閉じ込めが達成できる。発振波長が 500 nm 以上の窒化物半導体レーザダイオードの場合、井戸層の数が 2 層の場合よりも、3 層又は 4 層の方が閾値電流は低下する。

【0049】

活性層 6 の発振波長は、500 nm 以上であることが好ましいが、あまりに長波長になると活性層 6 で発生する転位の密度が高くなる。そこで活性層 6 の発振波長を 580 nm 以下とすることが好ましい。

【0050】

(p 側窒化物半導体層 8)

(1) Al を含む窒化物半導体層 26 (第 1 の p 側窒化物半導体層)

Al を含む窒化物半導体層 26 は、比較的高い Al 混晶比を持つ p 型窒化物半導体から成ることが好ましく、Al_xGa_{1-x}N (0.1 < x < 0.5) を含むことが望ましい。また、Mg 等の p 型不純物が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の濃度でドーピングされている。これにより Al を含む窒化物半導体層 26 は、電子を活性層 6 中に有効に閉じ込めることができ、レーザの閾値を低下させる。また、Al を含む窒化物半導体層 26 は、3 ~ 50 nm、より好ましくは 3 ~ 20 nm 程度の薄膜で成長させれば良く、薄膜であれば p 側光ガイド層 28 や p 側クラッド層 32 よりも低温で成長させることができる。したがって、Al を含む窒化物半導体層 26 を形成することにより、p 側光ガイド層 28 を活性層 6 の上に直接形成する場合に比べて、In を含む活性層 6 の分解を抑制することができる。また、この Al を含む窒化物半導体層 26 は、電子閉込め層として機能させるため、活性層 6 とクラッド層 32 との間に設けるものであり、更に光ガイド層 28 を有する場合には、光ガイド層 28 と活性層 6 との間に設けることが好ましい。

【 0 0 5 1 】

(2) p 側光ガイド層 2 8 (第 2 の p 側窒化物半導体層)

p 側光ガイド層 2 8 は、A l を含む p 型窒化物半導体層 2 6 及び次に成長する p 側クラッド層 3 2 よりもバンドギャップが小さく、かつ、井戸層 2 4 a、b よりも大きな窒化物半導体から成ることが好ましい。次に成長する p 側クラッド層が I n A l G a N 層または I n A l N 層である場合は、前述したように G a N 層が好ましい。

【 0 0 5 2 】

(3) p 側クラッド層 3 2 (第 3 の p 側窒化物半導体層)

p 側クラッド層 3 2 は、n 側クラッド層 1 6 と同様に、 $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ ($0 < a' < 1$ 、 $0 < b' < 1$ 、 $0 < a' + b' < 1$) (= I n と A l を含む p 側窒化物半導体層) の単層によって構成することができる。その場合、500 nm 以上の長波長における光閉じ込めを実現するために、 $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ の A l 混晶比 b' は少なくとも 0.10 以上であることが好ましく、より好ましくは 0.14 以上、さらに好ましくは 0.20 以上とする。また、A l 混晶比 b' が高すぎると 3 次元成長が発生しやすくなり表面が荒れてしまい、A l 混晶比 b が 0.5 以下、より好ましくは 0.4 以下であることが望ましい。また、 $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ の A l が増加すると、半導体の p 型化が困難になってしまう。そこで本実施の形態では、A l 混晶を増加させながら p 型化を促進するために、比較的 p 型化しやすい G a N 等と $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ との超格子構造としている。例えば、 $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ ($0 < a' < 1$ 、 $0 < b' < 1$ 、 $0 < a' + b' < 1$) と、A l G a N、I n G a N 及び G a N から成る群から選択された少なくとも 1 種とを交互に積層し、p 型不純物を含む超格子層とすることができる。 $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ 層の間に G a N 等を成膜することにより、結晶状態をよくすることができる、点欠陥や光吸収を低減することができる。たとえば、G a N / $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ を 25 / 25 を 100 ペア (5000) 程度とすることができる。p 側クラッド層 3 2 を超格子構造とした場合も、その中に含まれる $I n_{a'} A l_{b'} G a_{1-a'-b'} N$ (= I n と A l を含む p 側窒化物半導体層) の A l 混晶比 b' を上記の範囲にすれば良好な特性を得ることができる。

【 0 0 5 3 】

p 側クラッド層 3 2 を I n と A l を含む p 側窒化物半導体 (4 元混晶の I n A l G a N 又は 3 元混晶の I n A l N) を含む超格子構造とすることによって、従来の A l G a N を含む超格子構造のクラッド層に比べてクラッド層全体の A l 混晶比を上げることができ、クラッド層自体の屈折率が小さくなり、バンドギャップエネルギーが大きくなる。したがって、レーザダイオードの閾値を低下させる上で非常に有効である。尚、超格子構造を取ることで、クラッド層自体に発生するピットやクラックが超格子にしないものよりも少なくなるので、ショートが発生も低くなる。

【 0 0 5 4 】

p 側クラッド層 3 2 が持つバンドギャップは、p 側光ガイド層 2 8 よりも大きく、A l を含む窒化物半導体層 2 6 よりも小さなことが好ましい。A 層と B 層を積層して成る超格子構造の p 側クラッド層 3 2 のバンドギャップは、A 層と B 層の平均として考えれば良い。p 側クラッド層 3 2 の p 型不純物濃度は、p 側光ガイド層 2 8 よりも高く、p 側コンタクト層 3 4 よりも低くすることが好ましい。p 側光ガイド層 2 8 よりも高い p 型不純物濃度を有することで正孔供給機能を補助しながら、p 側コンタクト層 3 4 よりも低い p 型不純物濃度を持つことで、結晶性の低下による閾値電流の増大を抑制することができる。A 層と B 層を積層して成る超格子構造の p 側クラッド層 3 2 の不純物濃度は、A 層と B 層の平均として考えれば良い。

【 0 0 5 5 】

(4) p 側コンタクト層 3 4 (第 4 の p 側窒化物半導体層)

p 側コンタクト層 3 4 は、p 型の窒化物半導体で構成することができ、好ましくは M g をドーブした G a N とすれば、p 側電極 3 8 と好ましいオーミック接触が得られる。p 側コンタクト層 3 4 は電極を形成する層であるので、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上の高キャリア

ア濃度とすることが望ましい。

【0056】

(リッジ構造)

本実施の形態のレーザダイオードでは、光ガイド層28の途中までエッチングすることによってリッジ36を設けた後、リッジ36の側面を SiO_2 や ZrO_2 等の絶縁性の埋め込み層46で覆い、さらに SiO_2 等の絶縁性の保護膜48を形成している。保護膜48として、半絶縁性、i型の窒化物半導体、リッジ部とは逆の導電型の窒化物半導体等を用いることもできる。

【0057】

尚、リッジ36を設ける際、図7に示すように、リッジ36の底部の両側にリッジ36と平行な溝49を形成することが好ましい。井戸層のIn含有率が高くなると、p側クラッド層32との屈折率差が小さくなり、十分な光閉じ込め係数が得られ難くなる。そこでリッジ36の両側に共振器方向に連続する溝部49を設けることで、井戸層のIn含有率が高い場合であっても、十分な光閉じ込めが行える。

【0058】

実施の形態2

図8は、実施の形態2に係る窒化物半導体レーザダイオードを示す模式断面図である。本実施の形態では、p側クラッド層32の形成が省略され、p側電極38が屈折率の低い導電性酸化物によって構成されている。その他以下で説明する点を除いては、実施の形態1と同様である。

【0059】

実施の形態1では、p側クラッド層32は、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ を含む超格子層とした。前述の通り、発振波長の長波長化に伴ってp側クラッド層32のAl混晶比を高め、膜厚を厚くする必要がある。ところが、窒化物半導体層中ではp型不純物の活性化率が低いため、p側クラッド層32のAl混晶比を高め、膜厚を厚くするとp側クラッド層32における抵抗率が増大し、レーザダイオードの動作電圧が高くなる問題がある。特に、InとAlを含む窒化物半導体である $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ は、Inを含むために窒素雰囲気中で成長する必要があり、結晶品質が比較的低い。このため $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ を含むp側クラッド層32では、Al混晶比や膜厚の増加による抵抗率の増大は一層顕著になる。

【0060】

そこで本実施の形態では、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ を含むp側クラッド層32の形成を省略し、導電性酸化物層から成るp側電極38をクラッド層として機能させる。これによって、レーザダイオードの発振波長を長波長にした場合の動作電圧の増大を抑制することができる。尚、本件明細書においてクラッド層とは、活性層(井戸層と障壁層を含む)の上側と下側に位置するそれぞれの膜のうち、井戸層の屈折率より低く膜厚は少なくとも100nm以上ある層のことを指している。これらは多層膜や超格子構造、またはGRIN構造であってもよい。このように活性層の上下に光屈折率の小さなクラッド層を設けることにより、光を活性層に閉じ込める機能をもつ。このクラッド層がないと、閾値電流が数倍増加し、ときには全くレーザ発振しない場合もある。つまり、端面発光型のレーザダイオードや端面発光型のLEDの場合、クラッド層として機能させるとは、実質的に光を閉じ込めるという意味であり、ある層がクラッド層として機能しているかは、等価屈折率シミュレーション等によって確認することができる。例えば、500nmにおけるGa_{0.4}N、Al_{0.4}N、In_{0.4}Nの屈折率を2.368、2.122、2.8として、各層の屈折率をその層を構成する窒化物半導体の混晶比に基づいて比例計算で算出して等価屈折率シミュレーションを行う。そのシミュレーションの結果、光の最大強度を1.0として、活性層を中心に活性層の上下にある特定の層までの領域で、光の強度が0.5以上となる領域のそれらの上下にある層をクラッド層と考えて良い(層の途中で0.5以上となる場合は、そこからをクラッド層と考える)。そのためクラッド層は多層膜であることもある。また、簡易には、窒化物半導体レーザのニアフィールドパターンから導波路の大きさを見積

10

20

30

40

50

もり、その導波路の大きさに合う位置にある層をクラッド層と判断することもできる。

【0061】

一方、 n 側クラッド層16には、実施の形態1と同様にInとAlを含む窒化物半導体を用いることが好ましい。実施の形態1と同様に、Alの混晶比 b を0.1以上とし、かつ、Inの混晶比を横軸としAlの混晶比を縦軸とする座標系において、 n 側クラッド層16を構成する窒化物半導体のInの混晶比とAl混晶比を示す座標(a, b)が、図5における直線OAと直線OBによって挟まれた領域内にあることが好ましい。これによって n 側クラッド層16における内部クラックやIn組成ゆらぎの発生を抑制して、結晶品質の優れた窒化物半導体レーザダイオードとすることができる。

【0062】

p側電極38に用いる導電性酸化物としては、p側ガイド層28（又はp側ガイド層28が省略された場合は障壁層22b）よりも屈折率の小さなものであれば良いが、Zn、In、Sn及びMgからなる群から選択された1種を含む酸化物とすることが好ましい。例えば、ZnO（屈折率1.95）、 In_2O_3 、 SnO_2 、ATO（アンチモンドープ酸化スズ）、ITO（InとSnの複合酸化物）、MgOなどが挙げられる。中でも、ITO（屈折率約2.1）が好ましい。尚、導電性酸化物は、窒化物半導体と異なり、屈折率の波長分散は少ない。導電性酸化物層は、当該分野で公知の方法によって形成することができる。例えば、スパッタ法、イオンビームアシスト蒸着法、イオン注入法、イオンプレーティング法、レーザアブレーション法、又はこれらの方法と熱処理の組み合わせ等、種々の方法を利用することができる。具体的には、スパッタ法により導電性酸化物膜、例えば、ITO膜を成膜する際に、スパッタガスとして酸素分圧の小さい又はゼロのガスから大きいガスに切り替えるか、徐々に酸素分圧を増加させて用いる方法、ITO成膜用のターゲットのほかに、In量が多いターゲットまたは酸素量が少ないターゲットを用い、途中でIn量が多いターゲットまたは酸素量が少ないターゲットに切り替える方法、スパッタ装置の投入電力を徐々に又は急激に増大させて成膜する方法等が挙げられる。また、真空蒸着により導電性酸化物膜、例えば、ITO膜を成膜する際に、半導体層の温度を急激又は徐々に上昇または低下させる方法、成膜レートを急激に低下させる方法、イオン銃を用いて酸素イオンを成膜途中から照射する方法等が挙げられる。また、本実施の形態においても、リッジ36の底部の両側に、図7に示すようなリッジ36と平行な溝49を形成することが好ましい。これにより、導電性酸化物と n 側のクラッド層により縦方向の光閉じ込めを行う一方で、溝49によって横方向の光閉じ込めも好適に行うことができるため好ましい。

【0063】

本実施の形態のようにITO等の導電性酸化物をp側電極38に用いてp側クラッド層として機能させる場合、通常の窒化物半導体に比べて屈折率が低いため、p側ガイド層28との屈折率差を大きくして光閉じ込めを強くすることができる。しかしながら、本件発明者が種々検討した結果、ITO等の導電性酸化物をp側のクラッドとして機能させる場合、p側の光閉じ込めが強くなり過ぎ、導波路内におけるビームの中心が n 側にシフトして、レーザダイオードの利得が低下する問題があることがわかった。この問題を解決するためには、 n 側クラッド層16に用いる $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ のAl混晶比を高め、In混晶比を低くすることが好ましい。 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ の屈折率は、Alの混晶比が高いほど低くなり、Inの混晶比が高いほど高くなる。したがって、内部クラックやIn組成ゆらぎの問題が起きない範囲でAl混晶比を高くし、In混晶比を低くすることで、 n 側クラッド層16の屈折率を低くし、ビームの中心を活性層に近づけることができる。具体的には、 n 側クラッド層16に用いる4元又は3元混晶の $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ において、Al混晶比 b を0.2以上とし、Inの混晶比 a を0.3 b 以下とすることが好ましい。さらにAl混晶比 b を0.25以上（一層好ましくは0.3以上）とし、In混晶比 a を0.25 b 以下（一層好ましくは0.22 b 以下）とすることが望ましい。

【0064】

10

20

30

40

50

ただし、 n 側クラッド層 16 に用いる $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ において、 Al 混晶比と In の混晶比を制御しても、結晶の品質を維持しながら、 ITO 等の導電性酸化物と同一の屈折率を実現することは容易でない。そこで、 n 側クラッド層 16 の屈折率が p 側クラッドとして機能させる導電性酸化物層の屈折率よりも高い場合、ビームの中心を活性層に近づけるために、最も p 側にある井戸層 24b から p 側クラッドとして機能する p 側電極 38 までの距離 d_p を、最も n 側にある井戸層 24a から n 側クラッド層 16 までの距離 d_n よりも大きくすることが好ましい。本実施の形態であれば、距離 d_n は、 n 側光ガイド層 18 の膜厚で決まり、距離 d_p は、最も p 側にある障壁層 22b と p 側光ガイド層 28 との合計膜厚で決まる。具体的には、 d_p を d_n よりも 300 以上、より好ましくは 500 以上、さらに好ましくは 1000 以上大きくすることが望ましい。また、別の観点から、 d_p は d_n の 1.1 倍～2.0 倍の範囲とすることが望ましい。

10

【0065】

実施の形態 3

本実施の形態では、実施の形態 1 又は 2 において、 n 側光ガイド層 18 として In 混晶比の高い窒化物半導体を用いて、 n 側光ガイド層 18 と n 側クラッド層 16 との界面で意図的に線欠陥を発生させる。その他の点は、実施の形態 1 又は 2 と同様である。

【0066】

実施の形態 1 又は 2 においては、 n 側光ガイド層 18 に用いる窒化物半導体の In 混晶比を小さくし、 n 側光ガイド層 18 と n 側クラッド層 16 との界面に線欠陥が入らないようにした。しかしながら、レーザダイオードの発振波長をより長波長にする場合、活性層 6 中の井戸層 24a、b の In 混晶比をより高くすることが必要となる。ところが、 n 側光ガイド層 18 の In 混晶比を低く抑えた場合、活性層 6 中の井戸層 24a、b の In 混晶比を高くすると、 n 側光ガイド層 18 と活性層 6 との格子定数差が大きくなってくる。したがって、 n 側光ガイド層 18 と活性層 6 との間に線欠陥が発生することを防止しようとすると、井戸層 24a、b の In 混晶比を高くしようとしても限界がある。

20

【0067】

そこで本実施の形態では、発想を転換し、 n 側光ガイド層 18 として In 混晶比が高く、膜厚の厚い窒化物半導体を用いて、 n 側クラッド層 16 と n 側光ガイド層 18 との界面で意図的に線欠陥を発生させる。 n 側クラッド層 16 と n 側光ガイド層 18 との界面で線欠陥が発生すると、そこで格子不整が緩和されるため、 n 側光ガイド層 18 の格子定数は下地にある n 側クラッド層 16 の格子定数よりも広くなる。したがって、 n 側光ガイド層 18 の上に活性層 6 を成長させる場合、活性層 6 中の井戸層 24a、b の In 混晶比を高めても、 n 側光ガイド層 16 と活性層の界面における線欠陥の発生を防止できる。即ち、 n 側クラッド層 16 と n 側光ガイド層 18 との界面で意図的に線欠陥を発生させることにより、活性層 6 中の井戸層 24a、b における In 混晶比を高めて長波長の発振を可能としながら、 n 側光ガイド層 16 と活性層 6 との界面における線欠陥の発生を抑制できる。線欠陥のような結晶欠陥は、活性層に近いほど電気光学特性への影響が顕著になる。このため n 側クラッド層 16 と n 側光ガイド層 18 の界面における線欠陥がレーザダイオードの特性に与える影響は、 n 側光ガイド層 18 と活性層 6 の界面で発生する線欠陥による影響に比べて小さい。したがって、本実施の形態によれば、電気光学特性に優れた長波長レーザを実現できる。

30

40

【0068】

具体的には、実施の形態 1 または 2 において、第 1 の n 側光ガイド層 18a と第 2 の光ガイド層 18b をいずれも $InGaN$ とし、その In 混晶比を n 側クラッド層 16 との界面において線欠陥が発生する程度に高く設定すれば良い。例えば、第 1 の n 側光ガイド層 18a 及び第 2 の n 側光ガイド層 18b における In 混晶比を 0.03 以上、より好ましくは 0.04 以上とすることが好ましい。また、第 1 の n 側光ガイド層 18a 及び第 2 の n 側光ガイド層 18b の合計膜厚は、200nm 以上、より好ましくは 400nm 以上、800nm 以下とすることが望ましい。

【0069】

50

尚、本実施の形態において充足すべき条件は、 n 側光ガイド層 18 の n 側クラッド層 16 側の界面（第 1 の界面）で線欠陥を発生させ、活性層 6 側の界面（第 2 の界面）で線欠陥を発生させないか、線欠陥を第 1 の界面より少なくする点である。したがって、上記の説明では、 n 側クラッド層 16 と n 側光ガイド層 18 との界面に線欠陥を発生させ、 n 側光ガイド層 18 と活性層 6 との界面に線欠陥を発生させない、と説明したが、上記条件が充足される限り、線欠陥の発生を議論する界面が別の界面であっても構わない。例えば、 n 側クラッド層 16 の上に、 n 側クラッド層 16 と格子整合する窒化物半導体層を形成した後、その追加の窒化物半導体層との界面に線欠陥が発生するように n 側光ガイド層 18 を形成しても構わない。また、本実施の形態の考え方は、特に 510 nm 以上の発振波長を持つレーザダイオードに有効である。

10

【0070】

上記の実施の形態 1 ~ 3 では、 n 側クラッド層が単層である場合について説明したが、互いに組成の異なる多層としても良い。例えば、 In と Al を含む窒化物半導体である $In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $0 < a + b < 1$) ($= In$ と Al を含む n 側窒化物半導体層)と $AlGa$ N 、 $InGa$ N 、 GaN 等との超格子構造の多層膜としても良い。また、リッジ構造を持つ屈折率導波型のレーザダイオードについて説明したが、本件発明はそれに限定されない。リッジ側面を再成長により埋め込んだ BH 構造や、電流狭窄層を設けた構造など種々の構造とすることができる。また、端面発光型や面発光型の発光ダイオードに本件発明を適用することもできる。面発光型の発光ダイオードでは、クラッド層による光閉じ込めは行わないが、クラッド層などの Al 混晶比を高めることに伴う結晶品質上の問題点は上記実施の形態 1 ~ 3 と共通する。また、実施の形態 1 から 3 のレーザダイオードは、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) で表される窒化物半導体から成るが、六方晶系の窒化物半導体であることが好ましい。六方晶系であれば、III 族元素又は V 族元素に他の元素が結晶性を低下させない程度に少量含まれていても構わない。

20

【0071】

実施の形態 1 ~ 3 において得られた緑色の窒化物半導体レーザダイオードに、従来からの青色の窒化物半導体レーザダイオードと赤色の半導体レーザダイオードを組み合わせれば、フルカラーのディスプレイが実現できる。例えば、本件発明に従って構成された波長 500 ~ 560 nm で発振する窒化物半導体レーザダイオードと、波長 440 ~ 480 nm で発振する窒化物半導体レーザダイオードと、波長 600 ~ 660 nm で発振する半導体レーザダイオードとを組み合わせることで、半導体レーザを用いたフルカラーディスプレイ装置を得ることができる。

30

【0072】

[実施例]

(実施例 1)

図 1 に示す構造の窒化物半導体レーザを、表 1 の層構成で製造する。

(表 1)

(表 1)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au		
p 電極	Ni/Au		

エビ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層		
	コンタクト層	GaN	150
	クラッド層	$\text{Al}_{0.14}\text{In}_{0.03}\text{GaN}/\text{GaN}$	$(25/25)_{100\text{pair}}$
	ガイド層	n- GaN	3000
	キャップ層	$\text{Al}_{0.20}\text{GaN}$	100
	活性層		
	障壁層	$\text{In}_{0.02}\text{GaN}$	800
	井戸層	$\text{In}_{0.3}\text{GaN}$	20
	障壁層	GaN	100
	井戸層	$\text{In}_{0.3}\text{GaN}$	20
	n側層		
	ガイド層	n- $\text{In}_{0.02}\text{GaN}$	3000
	ガイド層	GaN	3000
	クラッド層	$\text{Al}_{0.14}\text{In}_{0.03}\text{GaN}$	10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

【 0 0 7 3 】

この窒化物半導体レーザを、以下のようにして製造する。

(n 側窒化物半導体層 4)

まず、{ 2 0 - 2 1 } 面を主面とし、転位密度が約 $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ である窒化ガリウム基板 2 を準備する。この窒化物半導体基板は、横方向成長技術を用いて成長した後、表面を研磨したものである。MOCVD 法によりこの窒化ガリウム基板 2 上に、TMG (トリメチルガリウム)、TEG (トリエチルガリウム)、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMI (トリメチルインジウム)、 SiH_4 (シラン)、 Cp_2Mg (ビスシクロペンタジエニルマグネシウム)、アンモニアを用い結晶成長を行った。水素をキャリアガスとして、1000 で Si を $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 GaN 層を膜厚 4 μm で成長させる (n コンタクト層 5 0)。次に、窒素をキャリアガスに切り替えて 950 で Si を $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 $\text{In}_{0.03}\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.83}\text{N}$ 層 1 2 を膜厚 1 μm で成長させる (n 側クラッド層 1 6)。次にキャリアガスを水素に切り替え、990 で Si を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 GaN 層 1 8 a を成長した後、キャリアガスを窒素に切り替え、TMI を再び流しながら、成長温度を 920 にしてアンドープの n 型 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 層 1 8 b をそれぞれ 0.30 μm の膜厚で成長させる (n 側光ガイド層 1 8 a、b)。なおこのアンドープ InGa N 層 1 8 b に n 型不純物をドープしてもよい。

【 0 0 7 4 】

(活性層 6)

次に活性層 6 を以下のようにして成長する。温度を 780 にしてアンドープ $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる井戸層 2 4 a を 2 nm を成長した後、アンドープ GaN よりなる井戸キャップ層 (図示せず) を 1 nm 成長し、温度を 925 に上げてアンドープ GaN よりなる障壁層 2 2 a を 10 nm 成長する。温度を 780 にして再度アンドープ $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる井戸層 2 4 b を 2 nm 成長させた後、アンドープ GaN よりなる井戸キャップ層 (図示せず) を 1 nm 成長し、温度を 925 に上げてアンドープ In

0.02 Ga_{0.98}Nよりなる障壁層22bを80nm成長させ、多重量子井戸構造(MQW)の活性層を形成する。

【0075】

(p側室化物半導体層8)

次に温度を990℃に上げ、キャリアガスを窒素から水素に切り替え、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層26(A1を含む室化物半導体層26)を10nmの膜厚で成長させる。続いて990℃でMgを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaN層28を0.3μmの膜厚で成長させる(p側光ガイド層28)。尚、層28のAl組成が0~3%であってもよい。次にキャリアガスを窒素に切り替え、950℃でMgをドーピングしたGaNよりなる2.5nmの層と、アンドーピングIn_{0.03}Al_{0.14}Ga_{0.83}Nよりなる2.5nmの層とを交互に成長させ、総膜厚0.5μmよりなる層p側クラッド層32を成長させる。p側クラッド層32における平均のMg濃度は、約 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ となる。最後にキャリアガスを水素に切り替え990℃で層26の上にMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaN層32を15nmの膜厚で成長させる。

【0076】

次に、室化物半導体を成長させたウェハを反応容器から取り出し、最上層のp型GaN層32の表面にSiO₂からなるマスクを形成し、このマスクを用いて室化物半導体層を3μmエッチングし、600μmの長さ(共振器長に対応)のストライプ構造を形成する。ストライプの方向はC軸に平行な方向又はA軸に平行な方向に形成することが望ましい。ここではA軸に平行な方向で形成する。この部分がレーザ素子の共振器本体となる。共振器長は200μm~5000μm程度の範囲であることが好ましい。次にp型GaN層32の表面にSiO₂からなるストライプ状のマスクを形成し、このマスクを用いてp型GaN層32の表面をRIE(反応性イオンエッチング)によりエッチングする。これによってストライプ状の導波路領域であるリッジ部36を幅2μmで形成する。またこの際、図7に示すようにリッジ脇部分49が周辺領域よりも30nm深くエッチングされ、かつリッジ部36の側壁はp型GaN層32に対して75度の角度で形成されるようエッチング条件(圧力、温度)を調整する。

【0077】

次にフォトリソistによりウェハ全面を覆い、リッジ部36上のSiO₂が露出するまでフォトリソistのエッチングを行う。続いてチップ化された際に共振器の端面となる領域を再度フォトリソistによりマスクした後、共振器端面付近を除くリッジ36上のSiO₂をエッチングし、p型GaN層32を露出させる。次にウェハ全体にNi(10nm)/Au(150nm)よりなるp電極38をスパッタリングにより形成し、その後すべてのフォトリソistを除去することによってストライプ状のリッジ部36のSiO₂を除去した部分のみにp電極38を残す。その後、600℃でオーミックアニールを行う。

【0078】

次にSi酸化物(SiO₂、200nm)からなる埋め込み層46をスパッタリングにより成膜する。ここでリッジ部36の形状はテーパ状であり、リッジ36の側壁はウェハ表面に対する断面積がその他の領域に比べて小さいため、埋め込み層46の膜厚はリッジ側壁部分<リッジ脇部分49の関係で形成される。またリッジ脇部分49はリッジ側壁に膜が形成されるに従って反応性イオンの密度が低下し、成膜レートがリッジ外領域に比べて低下するため、埋め込み層46の膜厚がリッジ脇部分49<リッジ外領域の関係で形成される。従って埋め込み層46の膜厚はリッジ側壁部分<リッジ脇部分49<リッジ外領域34の関係となる。

【0079】

次に再度フォトリソistによりウェハ全面を覆い、リッジ部36上のp電極38が露出するまでフォトリソistのエッチングを行う。続いてp電極38および共振器端面部分上のSiO₂を除去する。次にSi酸化物(SiO₂)からなる保護膜48を埋め込み膜の上及び半導体層の側面に0.5μmの膜厚で、スパッタリングにより成膜する。

【 0 0 8 0 】

次に先ほど露出させた p 電極 38 に連続して Ni (8 nm) / Pd (200 nm) / Au (800 nm) からなる p パッド電極 40 を形成する。次に基板 2 の厚みが 80 μ m になるように窒化物半導体層の成長面と反対側の面から研磨する。次に、n コンタクト層をエッチングにより露出させ、露出面に Ti (10 nm) / Al (100 nm) / Ti (1500 nm) / Pt (3000 nm) / Au (4000 nm) よりなる n 電極 42 を形成する。次にウェハをレーザによってピース状に分割し、ストライプ方向と垂直な方向に共振器端面を形成する。次にこの端面の両側に SiO₂ / ZrO₂ からなるミラーを形成する。最後に、共振器端面に垂直な方向で、バーを切り分けることによって半導体レーザ素子とする。

10

【 0 0 8 1 】

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、510 nm でレーザ発振し、動作電圧は 7.5 V である。

【 0 0 8 2 】

(比較例 1)

実施例 1 の窒化物半導体レーザダイオードの層構成を表 2 のようにする。その他の点は、実施例 1 と同様である。

(表 2)

(表 2)

20

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au
p 電極	Ni/Au

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層	GaN	150
	コンタクト層	Al _{0.03} GaN/GaN	(25/25) _{100pair}
	クラッド層	n- GaN	3000
	ガイド層	Al _{0.20} GaN	100
	キャップ層		
	活性層	In _{0.04} GaN	800
	障壁層	In _{0.15} GaN	20
	井戸層	GaN	140
	障壁層	In _{0.15} GaN	20
	n側層	n-In _{0.02} GaN	3000
	ガイド層	GaN	3000
	ガイド層	Al _{0.08} GaN	10000
	クラッド層	GaN	40000
	コンタクト層		
基板	(20-21)	GaN	

30

40

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、レーザ発振しなかった。

【 0 0 8 3 】

(実施例 2)

図 8 に示す構造の窒化物半導体レーザを、表 3 の層構成で製造する。

(表 3)

(表 3)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au		
p 電極	ITO		

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層		
	コンタクト層	GaN	150
	ガイド層	n- GaN	5000
	キャップ層	Al _{0.20} GaN	100
	活性層		
	障壁層	In _{0.02} GaN	800
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	障壁層	GaN	140
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	n側層		
	ガイド層	n-In _{0.02} GaN	3000
	ガイド層	GaN	3000
	クラッド層	Al _{0.14} In _{0.03} GaN	10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

【 0 0 8 4 】

本実施例において、p 側窒化物半導体層 8 は、以下のようにして製造した。その他の点は、実施例 1 と同様である。

(p 側窒化物半導体層 8)

温度を 990 °C に上げ、キャリアガスを窒素から水素に切り替え、Mg を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 層 26 (Al を含む窒化物半導体層 26) を 10 nm の膜厚で成長させる。続いて 990 °C で Mg を $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN 層 28 を 0.5 μm の膜厚で成長させる (p 側光ガイド層 28)。尚、層 28 の Al 組成が 0 ~ 3 % であってもよい。最後に 990 °C で層 26 の上に Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN 層 32 を 15 nm の膜厚で成長させる。

また p 電極 38 は ITO のスパッタリングにより 4000 Å の膜厚で形成する。

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、510 nm でレーザ発振し、動作電圧は 7.0 V である。本実施例によれば、p 側クラッド層 32 を省略して、p 側電極 38 でクラッドを兼用したため、実施例 1 に比較して動作電圧を下げることができる。

【 0 0 8 5 】

(実施例 3)

実施例 2 における窒化物半導体レーザダイオードの層構成を表 4 のようにする。その他の点は、実施例 2 と同様である。

(表 4)

(表 4)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au
p 電極	ITO

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層 コンタクト層 ガイド層 キャップ層	GaN n- GaN Al _{0.20} GaN	150 5000 100
	活性層 障壁層 井戸層 障壁層 井戸層	In _{0.02} GaN In _{0.3} GaN GaN In _{0.3} GaN	800 20 140 20
	n側層 ガイド層 ガイド層 クラッド層	n-In _{0.02} GaN GaN Al _{0.20} In _{0.05} GaN	2000 3000 10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

10

20

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、510nmでレーザ発振し、動作電圧は7Vである。

【0086】

30

(実施例 4)

実施例 2 における窒化物半導体レーザダイオードの層構成を表 5 のようにする。その他の点は、実施例 2 と同様である。

(表 5)

(表 5)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au
p 電極	ITO

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層		
	コンタクト層	GaN	150
	ガイド層	n- GaN	6000
	キャップ層	Al _{0.20} GaN	100
	活性層		
	障壁層	In _{0.02} GaN	800
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	障壁層	GaN	140
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	n側層		
	ガイド層	GaN	4000
	クラッド層	Al _{0.30} In _{0.07} GaN	10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、510nmでレーザ発振し、動作電圧は7.2Vである。本実施例によれば、n側クラッド層16のAl混晶比を0.03に高め、距離 d_p を d_n の約1.7倍にするため、実施例2及び3に比べて閾値電流を低下することができる。

【0087】

(実施例5)

実施例2における窒化物半導体レーザダイオードの層構成を表6のようにする。その他の点は、実施例2と同様である。

(表 6)

10

20

30

(表 6)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au
p 電極	ITO

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層		
	コンタクト層	GaN	150
	ガイド層	n- GaN	3000
	キャップ層	Al _{0.20} GaN	100
	活性層		
	障壁層	In _{0.02} GaN	800
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	障壁層	GaN	140
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	n側層		
	ガイド層	GaN	2000
	クラッド層	Al _{0.30} In _{0.07} GaN	10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

10

20

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、510nmでレーザ発振し、動作電圧は6.8Vである。本実施例によれば、n側ガイド層とp側ガイド層の膜厚を薄くしたため、動作電圧を低下することができる。但し、活性層からITOまでの距離が近いこと、閾値電流は実施例2～4に比べて高くなる。

【0088】

30

(実施例6)

実施例2の窒化物半導体レーザを、表7の層構成で製造する。

(表7)

(表 7)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au		
p 電極	ITO		

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層		
	コンタクト層	GaN	150
	ガイド層	n- GaN	5000
	キャップ層	Al _{0.20} GaN	100
	活性層		
	障壁層	In _{0.02} GaN	800
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	障壁層	GaN	140
	井戸層	In _{0.3} GaN	20
	n側層		
	ガイド層	n-In _{0.02} GaN	3000
	ガイド層	GaN	3000
	クラッド層	Al _{0.8} In _{0.2} N	10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

10

20

【 0 0 8 9 】

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、510nmでレーザ発振し、動作電圧は7.5Vである。本実施例によれば、n側クラッド層の組成をAl_{0.75}In_{0.25}Nとすることにより、n側クラッド層の屈折率を低下させて、ITOの屈折率に近づけることができる。したがって、実施例2に比較して閾値電流を下げることができる。

【 0 0 9 0 】

(実施例 7)

30

実施例1の窒化物半導体レーザを、表8の層構成で製造する。その他の点は、実施例1と同様である。

(表 8)

(表 8)

n 電極	Ti/Al/Ti/Pt/Au		
p 電極	Ni/Au		

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層	GaN	150
	コンタクト層	$\text{Al}_{0.14}\text{In}_{0.03}\text{GaN}/\text{GaN}$	$(25/25)_{100\text{pair}}$
	クラッド層	n- GaN	3000
	ガイド層	$\text{Al}_{0.20}\text{GaN}$	100
	キャップ層		
	活性層		
	障壁層	$\text{In}_{0.04}\text{GaN}$	800
	井戸層	$\text{In}_{0.34}\text{GaN}$	20
	障壁層	GaN	100
	井戸層	$\text{In}_{0.34}\text{GaN Well}$	20
	n側層		
	ガイド層	n- $\text{In}_{0.04}\text{GaN}$	3000
	ガイド層	GaN	3000
	クラッド層	$\text{Al}_{0.14}\text{In}_{0.03}\text{GaN}$	10000
	コンタクト層	GaN	40000
基板	(20-21)	GaN	

10

20

【 0 0 9 1 】

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、515nmでレーザ発振し、動作電圧は7.7Vである。本実施例では、n側ガイド層のIn混晶比を高め、n側ガイド層とn側クラッド層の間で線欠陥を発生させる。このため、井戸層のIn混晶比を高めて、より長波長の発光が可能となる。

30

【 0 0 9 2 】

(実施例 8)

図9に示す構造の窒化物半導体レーザを、表9の層構成で製造する。

(表 9)

(表 9)

n 電極	V/Pt/Au		
p 電極	Ni/Au		

エピ構造		組成	膜厚(Å)
	p 側層	GaN	150
	コンタクト層	$\text{Al}_{0.14}\text{In}_{0.03}\text{GaN}/\text{GaN}$	(25/25) _{100pair}
	クラッド層	n- GaN	3000
	ガイド層	$\text{Al}_{0.20}\text{GaN}$	100
	キャップ層		
	活性層	$\text{In}_{0.02}\text{GaN}$	800
	障壁層	$\text{In}_{0.3}\text{GaN}$	20
	井戸層	GaN	100
	障壁層	$\text{In}_{0.3}\text{GaN Well}$	20
	井戸層		
	n側層	n- $\text{In}_{0.02}\text{GaN}$	3000
	ガイド層	GaN	3000
	ガイド層	$\text{Al}_{0.14}\text{In}_{0.03}\text{GaN}$	10000
	クラッド層	GaN 層	40000
基板	(20-21)	GaN	

10

20

【 0 0 9 3 】

本実施例は、図 1 に示した窒化物半導体レーザダイオードの変形例である。本実施例では、n 側電極 4 2 を基板 2 の裏面側に形成しており、n コンタクト層としての GaN 層を有していないが、基板と AlInGaN 層との間に GaN 層を有している。n 電極は、V/Pt/Au をそれぞれ 10 nm/200 nm/300 nm の膜厚で形成する。

このようにして作成した窒化物半導体レーザダイオードは、実施例 1 と同様の効果を得ることができる。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 9 4 】

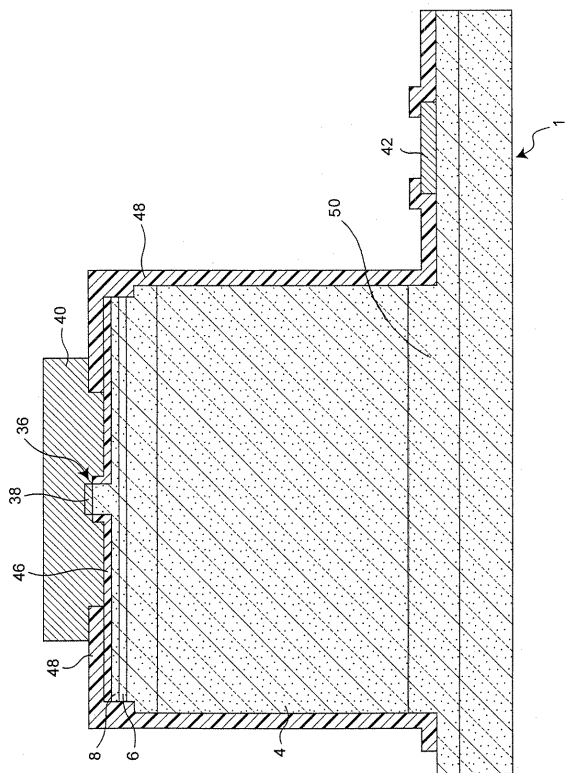
- 1 窒化物半導体レーザダイオード
- 2 基板
- 4 n 側窒化物半導体層
- 6 活性層
- 8 p 側窒化物半導体層
- 16 n 側クラッド層
- 18 a、b n 側光ガイド層
- 22 a、b InGaN 障壁層
- 24 a、b InGaN 井戸層
- 26 Al を含む窒化物半導体層
- 28 p 側光ガイド層
- 32 p 側クラッド層
- 34 p 側コンタクト層
- 36 リッジ構造
- 38 p 側電極
- 40 p 側パッド電極
- 42 n 側電極

40

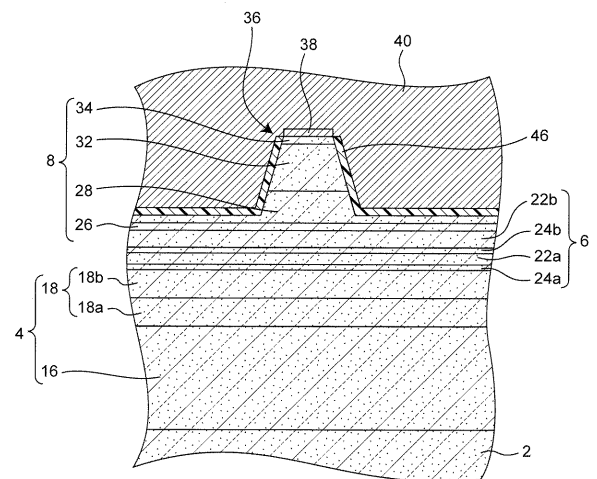
50

- 4 6 埋め込み層
- 4 8 保護膜
- 4 9 窪み

【図 1】

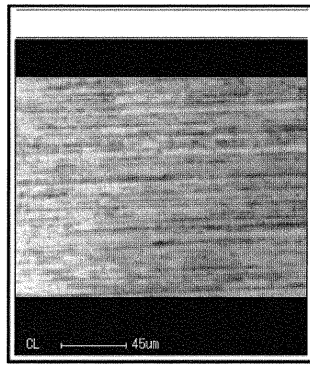


【図 2】

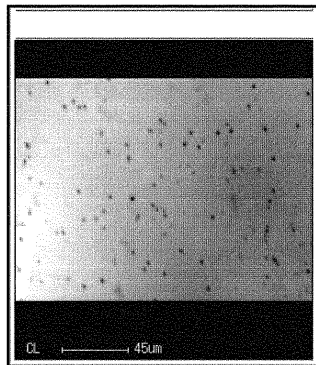


【図 3】

(a)

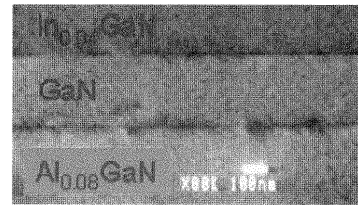


(b)

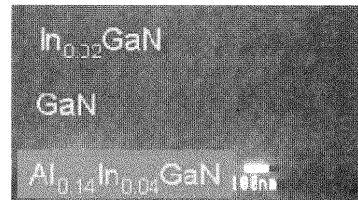


【図 4】

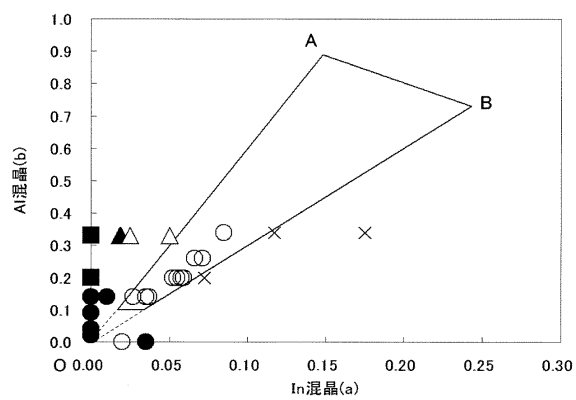
(a)



(b)

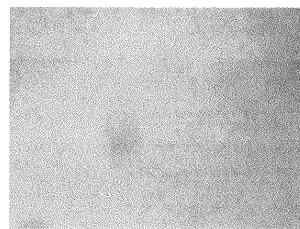


【図 5】

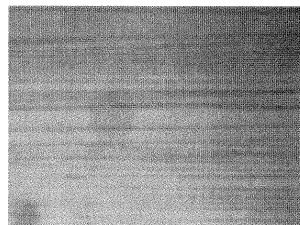


【図 6】

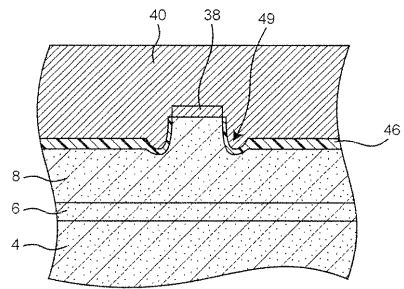
(a)



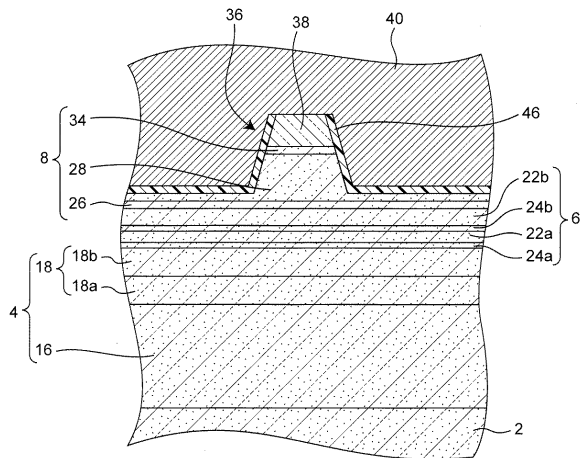
(b)



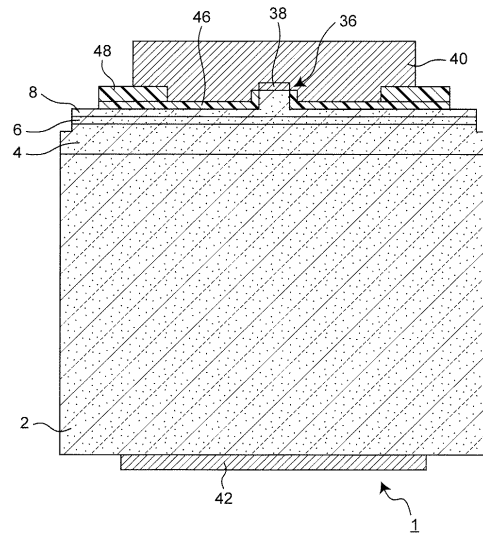
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-192865(JP,A)
国際公開第2010/051537(WO,A1)
特開2009-117695(JP,A)
特開2002-319743(JP,A)
特開2011-023539(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50

H01L 33/00 - 33/64