

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5128604号

(P5128604)

(45) 発行日 平成25年1月23日(2013.1.23)

(24) 登録日 平成24年11月9日(2012.11.9)

(51) Int.Cl.

H01S 5/16 (2006.01)

F1

H01S 5/16

請求項の数 13 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2009-531045 (P2009-531045)	(73) 特許権者	000005290
(86) (22) 出願日	平成19年9月4日(2007.9.4)		古河電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2007/067231		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(87) 国際公開番号	W02009/031206	(74) 代理人	100089118
(87) 国際公開日	平成21年3月12日(2009.3.12)		弁理士 酒井 宏明
審査請求日	平成22年5月6日(2010.5.6)	(72) 発明者	谷口 英広
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	石井 宏辰
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	行谷 武
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子および半導体レーザ素子製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造の活性層を有する非窓領域とを備え、前記混晶化部分は、所定の原子を吸収し前記III族空孔の拡散を促進する促進膜を前記窓領域上に設けることにより形成された半導体レーザ素子において、

前記活性層の近傍側の層にV族サイトを優先的に置換する不純物がドーピングされたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】

前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記混晶化部分形成時の熱処理温度において拡散係数が $3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ 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素子。

【請求項3】

前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記活性層の上側に形成されたガイド層の少なくとも前記活性層側にドーピングされることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】

前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記活性層の上側に形成されたクラッド層の少なくとも前記活性層側にドーピングされることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

10

20

【請求項 5】

前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記活性層にキャリアを注入するために前記活性層の上側に形成されたコンタクト層の少なくとも前記活性層側にドーピングされることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、C（炭素）であることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】

当該半導体レーザ素子は、リッジ構造を有することを特徴とする請求項1～6のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

10

【請求項 8】

前記クラッド層の中間または前記コンタクト層の中間に設けられ、外部から注入された電流を狭窄して前記活性層に供給する電流非注入層を備え、

前記クラッド層または前記コンタクト層は、前記電流非注入層がその上に形成される第1層と、前記電流非注入層形成後に650℃以上の表面清浄化処理を行ってから再成長される第2層、または、650℃以上の温度域における再成長を行って形成される第2層とを有することを特徴とする請求項4～7のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】

III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造の活性層を有する非窓領域とを備えた半導体レーザ素子製造方法において、

20

所定の原子を吸収し前記III族空孔の拡散を促進する促進膜を前記窓領域上に形成する促進膜形成工程と、

前記活性層の近傍側にV族サイトを優先的に置換する不純物をドーピングした層を形成する不純物含有層形成工程と、

を少なくとも含むことを特徴とする半導体レーザ素子製造方法。

【請求項 10】

前記不純物含有層形成工程は、C（炭素）をドーピングした層を形成することを特徴とする請求項9に記載の半導体レーザ素子製造方法。

【請求項 11】

前記不純物含有層形成工程は、
前記活性層の上側に形成されるガイド層の少なくとも前記活性層側の一部を占める層と、
前記活性層の上側に形成されるクラッド層の少なくとも前記活性層側の一部を占める層と、
前記活性層にキャリアを注入するために前記活性層の上側に形成されるコンタクト層の少なくとも前記活性層側の一部を占める層との少なくともいずれかの層を形成することを特徴とする請求項9または10に記載の半導体レーザ素子製造方法。

30

【請求項 12】

前記クラッド層の中間または前記コンタクト層の中間に設けられ、外部から注入された電流を狭窄して前記活性層に供給する電流非注入層を形成する電流非注入層形成工程を含み、

前記不純物含有層形成工程は、

40

電流非注入層がその上に設けられる前記クラッド層の第1層または電流非注入層がその上に設けられる前記コンタクト層の第1層を形成する第1層形成工程と、

電流非注入層形成工程後に、650℃以上の表面清浄化処理後の再成長処理または650℃以上の温度域における再成長処理を行い、前記クラッド層の第2層または前記コンタクト層の第2層を形成する第2層形成工程と、

を含むことを特徴とする請求項9～11のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子製造方法。

【請求項 13】

900℃以上の熱処理温度で前記III族空孔を拡散して前記窓領域の混晶化を行う熱処理工程をさらに含むことを特徴とする請求項9～12のいずれか一つに記載の半導体レー

50

ザ素子製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造の活性層を有する非窓領域とを備え、所定の原子を吸収しIII族空孔の拡散を促進する促進膜を窓領域上に設けて混晶化部分を形成する半導体レーザ素子および半導体レーザ素子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、活性層内のキャリアの再結合によって発生した光を増幅してレーザ光を発振する半導体レーザ素子では、光出射端面が強い光密度のために劣化し、C O D (Catastrophic Optical Damage) と呼ばれる損傷を引き起こす場合がある。この対策として、光出射端面におけるエネルギーバンドギャップを大きくすることによって、活性層内部に比してレーザ光吸収の少ない窓領域を設けることが提案されている。

【0003】

近年、GaAs系半導体レーザ素子の窓領域の形成について、窓領域に対応して形成されGaの拡散を促進する促進膜と非窓領域に対応して形成されGaの拡散を抑制する抑制膜とを堆積した後、所定の熱処理を行い窓領域に対応する領域を混晶化するI F V D (Impurity Free Vacancy Disordering) 法を用いた技術が提案されている (特許文献1 参照)。

【0004】

【特許文献1】特開平7-122816号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、I F V D法を用いて混晶化させた窓領域であっても、高次のエネルギー発振に対応する波長のレーザ光を吸収してしまう場合があった。このため、過酷な条件下で半導体レーザ素子を駆動させた場合には、C O Dの発生によって半導体レーザ素子が劣化してしまい、信頼性の高い半導体レーザ素子を得ることができないという問題があった。

【0006】

この発明は、上記した従来技術の欠点に鑑みてなされたものであり、過酷な条件下で駆動させた場合であってもC O D発生を抑制し高い信頼性を有する半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、この発明にかかる半導体レーザ素子は、III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造の活性層を有する非窓領域とを備え、前記混晶化部分は、所定の原子を吸収し前記III族空孔の拡散を促進する促進膜を前記窓領域上に設けることにより形成された半導体レーザ素子において、前記窓領域におけるエネルギーバンドギャップと前記非窓領域におけるエネルギーバンドギャップとの差が50meV以上であることを特徴とする。

【0008】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造の活性層を有する非窓領域とを備え、前記混晶化部分は、所定の原子を吸収し前記III族空孔の拡散を促進する促進膜を前記窓領域上に設けることにより形成された半導体レーザ素子において、前記活性層の近傍側の層にV族サイトを優先的に置換する不純物がドーピングされたことを特徴とする。

【0009】

10

20

30

40

50

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記混晶化部分形成時の熱処理温度において拡散係数が $3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ 以下であることを特徴とする。

【0010】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記活性層の上側に形成されたガイド層の少なくとも前記活性層側にドーピングされることを特徴とする。

【0011】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記活性層の上側に形成されたクラッド層の少なくとも前記活性層側にドーピングされることを特徴とする。

10

【0012】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、前記活性層にキャリアを注入するために前記活性層の上側に形成されたコンタクト層の少なくとも前記活性層側にドーピングされることを特徴とする。

【0013】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、前記V族サイトを優先的に置換する不純物は、C（炭素）であることを特徴とする。

【0014】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、当該半導体レーザ素子は、リッジ構造を有することを特徴とする。

20

【0015】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子は、前記クラッド層の中間または前記コンタクト層の中間に設けられ、外部から注入された電流を狭窄して前記活性層に供給する電流非注入層を備え、前記クラッド層または前記コンタクト層は、前記電流非注入層がその上に形成される第1層と、前記電流非注入層形成後に 650°C 以上の表面清浄化処理を行ってから再成長される第2層、または、 650°C 以上の温度域における再成長を行って形成される第2層とを有することを特徴とする。

【0016】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子製造方法は、III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造の活性層を有する非窓領域とを備えた半導体レーザ素子の製造方法において、所定の原子を吸収し前記III族空孔の拡散を促進する促進膜を前記窓領域上に形成する促進膜形成工程と、前記活性層の近傍側にV族サイトを優先的に置換する不純物をドーピングした層を形成する不純物含有層形成工程と、を少なくとも含むことを特徴とする。

30

【0017】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子製造方法は、前記不純物含有層形成工程は、C（炭素）をドーピングした層を形成することを特徴とする。

【0018】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子製造方法は、前記不純物含有層形成工程は、前記活性層の上側に形成されるガイド層の少なくとも前記活性層側の一部を占める層と、前記活性層の上側に形成されるクラッド層の少なくとも前記活性層側の一部を占める層と、前記活性層にキャリアを注入するために前記活性層の上側に形成されるコンタクト層の少なくとも前記活性層側の一部を占める層との少なくともいずれかの層を形成することを特徴とする。

40

【0019】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子製造方法は、前記クラッド層の中間または前記コンタクト層の中間に設けられ、外部から注入された電流を狭窄して前記活性層に供給する電流非注入層を形成する電流非注入層形成工程を含み、前記不純物含有層形成工程は、電流非注入層がその上に設けられる前記クラッド層の第1層または電流非注入層がその

50

上に設けられる前記コンタクト層の第1層を形成する第1層形成工程と、電流非注入層形成工程後に、650℃以上の表面清浄化処理後の再成長処理または650℃以上の温度域における再成長処理を行い、前記クラッド層の第2層または前記コンタクト層の第2層を形成する第2層形成工程と、を含むことを特徴とする。

【0020】

また、この発明にかかる半導体レーザ素子製造方法は、900℃以上の熱処理温度で前記III族空孔を拡散して前記窓領域の混晶化を行う熱処理工程をさらに含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

10

本発明によれば、活性層の近傍側の層にV族サイトを優先的に置換する不純物をドーピングすることによって、窓領域における混晶化の促進の劣化と非窓領域における混晶化の抑制の劣化とを防止し、窓領域におけるエネルギーバンドギャップと非窓領域におけるエネルギーバンドギャップとの差を大きくすることができ、過酷な条件下で駆動させた場合であってもCOD発生を抑制し高い信頼性を有する半導体レーザ素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】図1は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の斜視図である。

【図2】図2は、図1に示す半導体レーザ素子の横断面図である。

20

【図3】図3は、図1に示す半導体レーザ素子の縦断面図である。

【図4】図4は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

。

【図5】図5は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

。

【図6】図6は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

。

【図7】図7は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

。

【図8】図8は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

30

。

【図9】図9は、従来技術にかかる半導体レーザ素子における空孔および格子間Znの拡散を説明する図である。

【図10】図10は、従来技術にかかる半導体レーザ素子の窓領域および非窓領域における光吸収量の波長変化を示す図である。

【図11】図11は、従来技術にかかる半導体レーザ素子におけるレーザ光の強度変化量の時間依存を示す図である。

【図12】図12は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子における空孔およびCの拡散を説明する図である。

【図13】図13は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の窓領域および非窓領域における光吸収量の波長変化を示す図である。

40

【図14】図14は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の窓領域と非窓領域におけるRTAの熱処理温度とエネルギーシフト量との関係を示す図である。

【図15】図15は、実施の形態1にかかる半導体レーザのパルス駆動における光出力特性を示した図である。

【図16】図16は、本実施の形態1にかかる半導体レーザのエージング試験結果を示す図である。

【図17】図17は、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。

【図18】図18は、図17に示す半導体レーザ素子の窓領域と非窓領域におけるRTA

50

の熱処理温度とエネルギーシフト量との関係を示す図である。

【図 1 9】図 1 9 は、図 1 7 に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

【図 2 0】図 2 0 は、図 1 7 に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

【図 2 1】図 2 1 は、図 1 7 に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

【図 2 2】図 2 2 は、図 1 7 に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

【図 2 3】図 2 3 は、図 1 7 に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明する図である。

【図 2 4】図 2 4 は、実施の形態 1 にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。

【図 2 5】図 2 5 は、実施の形態 2 にかかる半導体レーザ素子の横断面図である。

【図 2 6】図 2 6 は、図 1 7 に示す半導体レーザ素子における再成長界面の状態を説明する図である。 10

【図 2 7】図 2 7 は、図 2 5 に示す半導体レーザ素子の窓領域と非窓領域における、R T A の熱処理温度とエネルギーシフト量との関係を示す図である。

【図 2 8】図 2 8 は、実施形態 1 における C、実施形態 2 における Z n、従来技術における Z n の活性層からの距離と不純物のドーピング濃度との関係を示す図である。

【図 2 9】図 2 9 は、実施の形態 2 にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。

【図 3 0】図 3 0 は、実施の形態 2 にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。

【図 3 1】図 3 1 は、実施の形態 2 にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。 20

【図 3 2】図 3 2 は、実施の形態 2 にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。

【図 3 3】図 3 3 は、実施の形態 1, 2 にかかる半導体レーザ素子の横断面図の他の例を示す図である。

【符号の説明】

【0 0 2 3】

1、2 0 1 半導体レーザ素子

2 高反射膜

3 低反射膜

4 レーザ光

1 1 基板

1 2 n-バッファ層

1 3 n-クラッド層

1 4 n-ガイド層

1 5 活性層

1 5 a 下部バリア層

1 5 b 量子井戸層

1 5 c 上部バリア層

1 6 p-ガイド層

1 7 p-クラッド層

1 8 p-コンタクト層

1 9 絶縁層

2 0 上部電極

2 1 下部電極

2 3 窓領域

2 4 非窓領域

2 5 促進膜

2 6 抑制膜

1 1 6 p-ガイド層

30

40

50

- 1 1 7 p-クラッド層
- 1 1 8 p-コンタクト層
- 1 3 8 a p-第1コンタクト層
- 1 3 8 b p-第2コンタクト層
- 1 3 9 電流非注入層
- 1 4 0 SiO₂膜
- 1 4 7 a p-第1クラッド層
- 1 4 7 b p-第2クラッド層
- 2 3 8 a p-第1コンタクト層
- 2 3 8 b p-第2コンタクト層
- 2 4 7 b p-第2クラッド層
- 2 4 8 p-コンタクト層
- 2 5 7 p-クラッド層

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態である I F V D 法を用いて形成された半導体レーザ素子について説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、図面の記載において、同一部分には同一の符号を付している。また、図面は模式的なものであり、各層の厚みと幅との関係、各層の比率などは、現実と異なることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている。

20

【0025】

(実施の形態1)

まず、実施の形態1にかかる半導体レーザ素子について説明する。実施の形態1にかかる半導体レーザ素子は、活性層に対し正孔を注入するために形成された層に不純物としてC（炭素）がドーピングされている。図1は、本実施の形態1にかかる半導体レーザ素子の斜視図であり、図2は、図1に示す半導体レーザ素子1の横断面図であり、図3は、図1に示す半導体レーザ素子の縦断面図である。

【0026】

図1に示すように、本実施の形態1にかかる半導体レーザ素子1は、電流をストライプ状に狭窄するリッジ構造を有し、レーザ光4の反射側には高反射膜2が形成され、レーザ光の出射側には低反射膜3が形成される。半導体レーザ素子1内部で発生したレーザ光および高反射膜2に反射したレーザ光は、低反射膜3を透過し、外部に出射される。

30

【0027】

つぎに、図2および図3を参照し、図1に示す半導体レーザ素子1の構造について説明する。図2および図3に示すように、半導体レーザ素子1は、n型GaAs基板である基板11上に、n-バッファ層12、n-クラッド層13、n-ガイド層14、活性層15、p-ガイド層16、p-クラッド層17、p-コンタクト層18、絶縁層19が順次積層されている。また、半導体レーザ素子1は、p-コンタクト層18の上部に上部電極20が形成され、基板11の下部に下部電極21が形成される。また、活性層15に対しp型のクラッドを積層する側、すなわち活性層15の上側に形成されたp-ガイド層16、活性層15に対しp型のクラッドを積層する側に形成されたp-クラッド層17および活性層15に対し正孔を注入するために形成されたp-コンタクト層18には、不純物としてCがドーピングされている。図2および図3に示すように、半導体レーザ素子1は、活性層15に注入される電流をストライプ状に狭窄し、かつ、ストライプに沿った光導波路として機能するリッジ構造を有しており、p-クラッド層17の上層およびp-コンタクト層18を含む層領域のレーザ光出射方向と垂直方向の幅が狭まったメサ形状に加工されている。半導体レーザ素子1には、光出射端面に、非窓領域24と比較しレーザ光の吸収が少ない窓領域23が設けられている。窓領域23は、III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含み、非窓領域24は、量子井戸構造の活性層15を有し混晶化部分を

40

50

含まない。窓領域 23 においては、混晶化することによって、非窓領域 24 のエネルギーバンドギャップとの差が 50 meV 以上となるように窓領域 23 のエネルギーバンドギャップを大きくしてレーザ光の吸収を抑制し、COD の発生を防止している。

【0028】

基板 11 は、n-GaAs を材料に含む。n-バッファ層 12 は、基板 11 上に高品質のエピタキシャル層の積層構造を成長するために必要な緩衝層であり、n-GaAs を層材料に含む。n-クラッド層 13 と n-ガイド層 14 は、積層方向に対する任意の光閉じ込め状態を実現するように、屈折率と厚さが決定され、n-AlGaAs を層材料に含む。n-ガイド層 14 の Al 組成は、20% 以上 40% 未満であることが望ましい。n-クラッド層 13 の Al 組成は、n-ガイド層 14 の Al 組成に比べ大きくすることで屈折率を小さくすることが普通である。本発明における窓領域を形成した大出力水平多モード発振素子においては、n-ガイド層 14 の膜厚は、200 nm 以上、たとえば 400 nm 程度であることが望ましい。n-クラッド層 13 の厚さは、1 μ m 以上、3 μ m 程度がよい。n-ガイド層 14 は、故意にドーピングをしない高純度層が使用される場合もあるが、n-ガイド層 14 の厚さを 100 nm 以上に設定する場合は、残留不純物の影響が大きく、ドーピングを施すほうがよい。

【0029】

活性層 15 は、下部バリア層 15a、量子井戸層 15b、上部バリア層 15c を備える。下部バリア層 15a および上部バリア層 15c は、量子井戸層 15b にキャリアを閉じ込める障壁の機能を有し、故意にドーピングをしない高純度の AlGaAs を材料として含む。量子井戸層 15b は、故意にドーピングをしない高純度の InGaAs を材料として含む。量子井戸層 15b の In 組成および膜厚、下部バリア層 15a および上部バリア層 15c の組成によって決まるポテンシャル井戸の構造により、閉じ込められたキャリアの発光再結合エネルギーが決定される。上記は、単一の量子井戸層 (SQW) の構成について説明したが、量子井戸層 15b と下部バリア層 15a および上部バリア層 15c との積層を所望の数だけ繰り返した多段量子井戸層 (MQW) の構成を有する場合もある。また、上記では、故意にドーピングをしない高純度層での構成を説明したが、量子井戸層 15b、下部バリア層 15a および上部バリア層 15c に故意にドナやアクセプタが添加される場合もある。さらに、下部バリア層 15a と n-ガイド層 14 とが同一の組成の場合があり、また、上部バリア層 15c と p-ガイド層 16 とが同一の組成の場合があるため、下部バリア層 15a、上部バリア層 15c は必ずしも構成される必要はない。

【0030】

p-ガイド層 16 と p-クラッド層 17 とは、上述の n-クラッド層 13 と n-ガイド層 14 と対となり、積層方向に対する任意の光閉じ込め状態を実現するように、屈折率と厚さが決定される。p-ガイド層 16 と p-クラッド層 17 とは、p-AlGaAs を層材料に含む。p-ガイド層 16 の Al 組成は、20% 以上であることが一般的であり、30% 以上であることが望ましい。この理由は、窓領域 23 において、混晶化の工程によって変化したエネルギーバンドギャップの変化量であるエネルギーシフトが大きくなり、窓領域 23 における混晶化が高い選択性で適切に行われた結果が得られるためである。p-クラッド層 17 の Al 組成は、40~50% 程度が普通で、層中の光フィールドを n-クラッド層 13 の方向にずらして導波路損失を小さくするために n-クラッド層 13 に比べ、p-クラッド層 17 の Al 組成は若干大きめに設定される。p-ガイド層 16 の Al 組成は、p-クラッド層 17 の Al 組成に比べ小さく設定される。本発明における窓領域を形成した大出力水平多モード発振素子においては、p-ガイド層 16 の膜厚は、200 nm 以上、たとえば 400 nm 程度であることが望ましい。p-クラッド層 17 の厚さは、1~2 μ m 程度がよい。なお、p-ガイド層 16 は、故意にドーピングをしない高純度層が使用される場合もあるが、ガイド層の厚さを 100 nm 以上に設定する場合は、残留不純物による導電性変動の影響が大きいため、製造再現性を高めるためにも、故意のドーピングを施すほうがよい。

【0031】

ここで、p-クラッド層17およびp-ガイド層16には、アクセプタ不純物として炭素(C)がドーピングされている。p-ガイド層16のC濃度は、 $0.1 \sim 1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定され、 $0.5 \sim 1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好適である。p-クラッド層17は、 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上に設定される。

【0032】

p-コンタクト層18は、p-クラッド層17と上部電極20とをオーミック接触させるためのものである。p-コンタクト層18は、p-GaAsを層材料に含む。p-コンタクト層18には高濃度のCがドーピングされており、これによりオーミック接触を実現している。

【0033】

つぎに、図4～図8を参照して、半導体レーザ素子1の製造方法について説明する。まず、図4に示すように、エピタキシャル成長によって、基板11上に、n-バッファ層12、n-クラッド層13、n-ガイド層14、活性層15、p-ガイド層16、p-クラッド層17、p-コンタクト層18を形成する。なお、p-ガイド層16、p-クラッド層17、p-コンタクト層18には、不純物としてC(炭素)がドーピングされている。

【0034】

そして触媒CVD(Chemical Vapor Deposition)法を用いてp-コンタクト層18上に SiN_x をたとえば100nm堆積する。この SiN_x は、ストイキオメトリ組成よりNの比率が高いものであり、原料であるシランとアンモニアガスとの流量をアンモニアリッチにした状態で成膜する。その後、フォトリソグラフィ工程およびエッチング工程を行い窓領域23に対応する領域以外の SiN_x を除去することによって、図5に示すように、促進膜25を形成する。促進膜25は、Nリッチ条件で成膜した SiN_x であるため、疎な膜となる。なお、促進膜25は、レーザ光が出射される端面を含んで形成される必要があり、レーザ光出射側から見て活性層15を覆うように、半導体レーザ素子1平面においては格子状、ストライプ状となるように形成される。そして、触媒CVD法を用いてp-コンタクト層18および促進膜25上にSリッチ条件で成膜した SiN_x をたとえば30nm堆積し、抑制膜26を形成する。この SiN_x は、ストイキオメトリ組成よりSiの比率が高いものである。抑制膜26は、触媒CVD法によって形成されるため、緻密な膜となる。なお、促進膜25よりも先に抑制膜26を形成する SiN_x を成膜し窓領域23に対応する SiN_x を除去して抑制膜26を形成してから、促進膜25を形成してもよい。

【0035】

つぎに、たとえば915℃、30秒間の短時間熱処理(RTA:Rapid Thermal Anneal)を行う。促進膜25は疎な膜であるため、拡散したGaを吸収することができる。このため、このRTAによって促進膜25下方に位置する各層のGaが促進膜25に吸収され、促進膜25の下方で接するp-コンタクト層18の表面上に空孔が発生し、この空孔が活性層15に拡散する。そして、促進膜25の下方に位置する量子井戸層15bが混晶化され、図6に示すように、窓領域23が形成される。このように、促進膜25は、Gaを吸収し空孔の拡散を促進して、窓領域23における混晶化を促進する機能を有する。これに対し、促進膜25が形成されていない領域においては、p-コンタクト層18に接するように抑制膜26が形成されている。抑制膜26は、緻密な膜であるため、Gaを吸収することがなく、Gaの拡散を抑制している。この結果、促進膜25が形成されていない領域においては、空孔が発生しないため混晶化が行われず、混晶化部分を含まない非窓領域24となる。このように、抑制膜26は、非窓領域24における混晶化を抑制する機能を有する。

【0036】

そして、促進膜25、抑制膜26を除去した後、図7に示すように、フォトリソグラフィ工程およびエッチング工程を行って、上部電極20に接触する領域以外のp-コンタクト層18とp-クラッド層17の上層を除去し、リッジ構造を形成する。絶縁層19を形成後、フォトリソグラフィ工程およびエッチング工程を行って、図8に示すように、上部

10

20

30

40

50

電極 20 に接触する領域以外の絶縁層 19 を除去する。そして、上部電極 20 および下部電極 21 を形成後、半導体ウェハを劈開し、劈開面に高反射膜 2 および低反射膜 3 を形成した後、半導体レーザ素子 1 ごとにカッティングすることによって、最終的な半導体レーザ素子 1 となる。

【0037】

上述したように、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ素子 1 においては、活性層 15 の近傍側の層である p-ガイド層 16、p-ガイド層 16 の上層である p-クラッド層 17 および p-コンタクト層 18 に不純物として C がドーピングされている。

【0038】

ここで、図 9 に示す従来技術にかかる半導体レーザ素子においては、p-ガイド層 116、p-クラッド層 117、p-コンタクト層 118 には、不純物として III 族サイトを優先的に置換する Zn がドーピングされている。Zn は、大きな拡散係数を有し不純物拡散しやすいことに加え、格子間原子を発生しやすく、発生した格子間原子の拡散速度が大きい特性を有する。ここで、促進膜 25 の促進機能が適切に機能する場合には、図 9 の矢印 Y0 に示すように、III 族を占める Ga の拡散によって発生した III 族空孔 31a が活性層 15 に到達して窓領域が形成される。しかし、図 9 の矢印 Y2 に示すように、発生した格子間 Zn 30b が III 族空孔 31b と再結合する場合がある。格子間 Zn 30b が III 族空孔 31b とは、ともに III 族系であるため、再結合しやすい傾向がある。特に Zn は、格子間原子を発生しやすく、発生した格子間原子の拡散速度が大きいため、格子間 Zn と III 族空孔とが多量に再結合するものと考えられる。この場合、空孔濃度が低下し、活性層 15 に十分な空孔が到達しない。この結果、促進膜 25 の促進機能が劣化し、窓領域 23 において大きなエネルギーバンドギャップを得ることができない。

【0039】

また、Zn は拡散しやすいため、図 9 の矢印 Y1 に示すように、発生した格子間 Zn 30a が IFVD 法における RTA によって活性層 15 に到達する場合がある。この場合、活性層 15 における量子井戸層 15b のレーザ発振性能が阻害される。さらに、格子間 Zn 30a の発生によって、抑制膜 26 による混晶化の抑制機能の劣化が発生し、非窓領域 24 のエネルギーバンドギャップが大きくなる。このように、従来技術においては、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差が十分に得られなかった。

【0040】

この結果、従来技術においては、窓領域における光吸収量の波長変化を示す図 10 の曲線 l s p に示すように、窓領域では、光吸収量の波長変化が設定よりも長波長側にシフトする場合があります。また、非窓領域における光吸収量の波長変化を示す図 10 の曲線 l d p に示すように、非窓領域では、光吸収量の波長変化が、設定されたレーザ光の波長よりも短波長側にシフトする場合があります。

【0041】

このため、図 10 に示すように、従来技術においては、窓領域と非窓領域とにおける吸収光の波長差 $\Delta \lambda_p$ は小さな値となり、窓領域におけるレーザ光の吸収が発生し、COD による半導体レーザ素子の劣化が起こる場合があった。特に、過酷な条件下で半導体レーザ素子を駆動させた場合には、設定されたレーザ光の波長であって第 1 の量子準位に対応する波長 λ_1 よりも短い波長である第 2 の量子準位に対応する波長 λ_2 のレーザ光が発振される場合がある。従来技術においては、曲線 l s p に示すように、窓領域において、この波長 λ_2 のレーザ光が吸収されてしまい、COD が発生していた。また、窓領域においては、波長 λ_2 のみならず、第 1 の量子準位に対応する波長 λ_1 よりも短い波長であって、ライトホールなどに起因する高次のエネルギー発振に対応する波長のレーザ光が発振された場合も、この波長の光が吸収されてしまっていた。この結果、従来技術においては、図 11 におけるレーザ光の強度 (P f) 変化量の時間依存に示すように、短時間でレーザ光の強度が低下してしまい、信頼性の高さを維持した長寿命の半導体レーザ素子を得るこ

とができないという問題があった。

【0042】

これに対し、本実施の形態1にかかる半導体レーザ素子1においては、p-ガイド層16、p-クラッド層17、p-コンタクト層18には、不純物としてV族サイトを優先的に置換するCがドーピングされている。このCは、拡散係数が非常に小さい。例えば950℃の熱処理下におけるCの拡散係数は、 $3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ 以下である。ここで、不純物の拡散係数をDとし、拡散時間をtとした場合、不純物の拡散長は $(Dt)^{1/2}$ である。具体的には、あるRTA温度で $3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ の拡散係数をもつ不純物を30秒間熱処理した場合には、この不純物の拡散長は、 $(Dt)^{1/2}$ を用いて計算した結果、約9.5nmとなる。通常、活性層15を基準とした約9.5nmの範囲にある材料層には不純物がドーピングされることがないことから、 $3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ の拡散係数をもつ不純物は、活性層15に到達することはない。よって、 $3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$ の拡散係数をもつCは、RTAを行った場合であっても、図12の矢印Y5に例示するような活性層15への移動を行うことがない。このため、半導体レーザ素子1のように、活性層15の上層であるp-ガイド層16にCをドーピングした場合であっても、このドーピングしたCによって、量子井戸層15bのレーザ発振機能および抑制膜26の抑制機能が阻害されることもない。したがって、非窓領域においては、エネルギーバンドギャップの増加が適切に抑制されることとなる。

10

【0043】

また、Cは、IV族の原子であるが、GaAsなどのV族元素がAsであるIII-V族化合物半導体中では、V族サイトに入ってアクセプタになる。Cは、GaAs中においては、促進膜25に吸収されるIII族を占めるGaとは異なる族であるV族サイトを優先的に置換する。このため、V族サイトを占めるCは、促進膜25へのGaの拡散によって生じたIII族空孔31c、31dと再結合しにくい。したがって、窓領域に対応する領域においては、再結合によって空孔濃度が低下することがなく、矢印Y6、Y7に示すように、発生したIII族空孔31c、31dが活性層15に円滑に到達し窓領域が適切に形成される。この結果、不純物として用いられたCによって促進膜25の促進機能が阻害されることがないため、窓領域23において大きなエネルギーバンドギャップを得ることができる。

20

【0044】

図13は、半導体レーザ素子1の窓領域および非窓領域における光吸収量の波長変化を示す図である。図13において、曲線1dnは非窓領域における光吸収量の波長変化を示し、曲線1snは窓領域における光吸収量の波長変化を示す。本実施の形態1においては、不純物としてCを用いた結果、促進膜25の促進機能が適切に機能し、窓領域における混晶化が十分に行われるとともに、抑制膜26の抑制機能も適切に機能する。この結果、窓領域と非窓領域とにおける吸収光の波長差 $\Delta\lambda_n$ は、従来技術と比較し、大きな値を得ることができる。言い換えると、半導体レーザ素子1においては、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差を十分に得ることができる。さらに、曲線1snに示すように、窓領域では、第2の量子準位に対応する波長 λ_2 など高次のエネルギー発振に対応する波長のレーザ光の吸収が発生しない。したがって、過酷な条件下で駆動させ高次のエネルギー発振が発生した場合であっても、窓領域においては、この高次のエネルギー発振に対応する波長のレーザ光も吸収せず、CODを発生することがない。また、抑制膜26の抑制機能も適切に機能するため、非窓領域では、曲線1dnに示すように、設定どおりの吸収特性を示すこととなり、設定された波長のレーザ光を精度よく発振することができる。

30

40

【0045】

実際に、半導体レーザ素子1の窓領域および非窓領域におけるエネルギーバンドギャップについて説明する。図14は、半導体レーザ素子1の窓領域と非窓領域における、混晶化のために行われるRTAの熱処理温度とエネルギーシフト量との関係を示す図である。エネルギーシフト量は、混晶化の工程によって変化したエネルギーバンドギャップの変

50

化量である。図14は、p-ガイド層16における活性層15側のCのドーピング量は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、p-クラッド層17における活性層15側のCのドーピング量は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、p-コンタクト層18における活性層15側のCのドーピング量は、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である半導体レーザ素子1についての結果を示すものである。

【0046】

混晶化の促進が適切に行われた場合、窓領域では、混晶化される前と比較し混晶化された後にはエネルギーバンドギャップが大きくなるため、大きなエネルギーシフト量を示す。前述したように、本実施の形態1においては、Cを不純物としてドーピングすることによって、窓領域における混晶化の促進を適切に行うことができる。図14に示すように、窓領域においては、900℃以上の熱処理温度でRTAを行った場合、エネルギーシフト量が60meV以上となり、エネルギーバンドギャップを大きくすることができる。

10

【0047】

一方、混晶化の抑制が適切に行われた場合、非窓領域では、混晶化される前後におけるエネルギーバンドギャップに大きな変化は生じないため、少ないエネルギーシフト量を示す。前述したように、本実施の形態1においては、Cを不純物としてドーピングすることによって、非窓領域における混晶化の抑制を適切に行うことができる。このため、図14に示すように、非窓領域においては、RTAの熱処理温度が900℃の場合には、エネルギーシフトはほとんど認められず、RTAの熱処理温度が950℃と高温であっても20meV程度のエネルギーシフト量を示すにすぎない。

20

【0048】

また、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差は、50meV以上であれば窓領域におけるレーザ光の吸収を抑制し、CODの発生を防止することができる。ところで、窓構造を採用し端面の光吸収を抑制した場合であっても、端面領域は局所的な温度上昇が起こりやすい領域であり、発光強度の上昇にともない部分的な温度上昇が避け得ない場合が多い。温度が上昇すると半導体のエネルギーバンドギャップは $(-0.5) \text{ meV}/^\circ\text{C}$ 程度で小さくなるので、作りこまれた窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差が相殺されてしまう。このため、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差を70meVとすることができれば、非窓領域と窓領域の温度差を ΔT_w とすると、 ΔT_w が20℃程度であっても許容される。さらに、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差を100meVとすることができれば、 ΔT_w が50℃程度に大きくなっても許容される。したがって、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差を大きく設定することができるほど高出力の素子を実現することができる。このように、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差は、50meV以上であることが必要であるが、70meVであることがより好ましく、さらに100meVであることがより好ましい。図14に示すように、半導体レーザ素子1においては、900℃以上の熱処理温度でRTAを行うことによって、窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差は、50meV以上とすることができる。また、エネルギーバンドギャップのエネルギー差が、70meV、100meVに相当する熱処理温度は、図14の例では、それぞれ905℃、925℃程度の熱処理により実現していることがわかる。

30

40

【0049】

したがって、本実施の形態1においては、RTAを900℃以上で行うことによって、50meV以上の窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差を得ることができ、CODの発生を防止することができる。

【0050】

実際に本実施の形態1における半導体レーザ素子1のレーザ光の出力特性について説明する。図15は、本実施の形態1にかかる半導体レーザ素子1であって窓領域のエネルギ

50

ーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差が 65 meV の窓構造レーザと、リファレンスとして窓領域なしレーザのパルス駆動における光出力特性を示した図である。図 15 は、図 14 の結果を示す半導体レーザ素子 1 のうち 900°C 30 秒で RTA 処理を行なった半導体レーザ素子 1 についての結果である。図 15 に示すように、過酷な条件となるように駆動電流を徐々に上げた場合、窓領域なしレーザにおいては駆動電流が 17 A 近傍において、COD が発生し、破壊を起こしている。これに対し、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ素子 1 である窓構造レーザにおいては、測定限界である 30 A まで駆動電流を上げた場合であっても、COD が生じず、正常にレーザ光を出力することが可能である。

【0051】

また図 16 は、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ素子 1 であって窓領域のエネルギーバンドギャップと非窓領域のエネルギーバンドギャップとの差が 60 meV の窓構造レーザと、リファレンスの窓領域なしレーザのエージング試験結果を示す図である。図 16 は、図 14 の結果を示す半導体レーザ素子 1 のうち 900°C 30 秒で RTA 処理を行なった半導体レーザ素子 1 についての結果である。図 16 は、駆動電流を 6 A 、 7 A 、 8 A 、 9 A と階段状に上げた場合の、光出力の変化率の時間依存性を示す。図 16 のように、より過酷な条件となるように駆動電流を上げた場合、窓領域なしレーザにおいては、短時間でレーザ光の強度が低下してしまい、高い信頼性を維持した長寿命の半導体レーザ素子を得ることができなかった。これに対し、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ素子 1 である窓構造レーザは、より過酷な条件となるように駆動電流を上げた場合であっても、テスト終了までの長時間の間、レーザ光の強度を高く維持することが可能であった。すなわち、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ素子 1 である窓構造レーザは、高い信頼性を維持しながら長い寿命を維持することができる。

【0052】

このように、本実施の形態 1 においては、活性層に対し p 型のクラッドを積層する側に形成された層に Zn ではなく C を不純物としてドーピングすることによって、窓領域における混晶化の促進および非窓領域における混晶化の抑制を適切に行うことができる。この結果、本実施の形態 1 においては、過酷な条件下で駆動させた場合であっても、COD の発生を防止した信頼性の高い半導体レーザ素子を実現することができる。

【0053】

なお、本実施の形態 1 として、いわゆるリッジ構造の半導体レーザ素子 1 について説明したがこれに限らず、電流狭窄機能を有する層を備えた半導体レーザ素子でもよい。この場合、図 17 に示すように、不純物として C がドーピングされた p-第 1 コンタクト層 138a と不純物として C がドーピングされた p-第 2 コンタクト層 138b との間に電流非注入層 139 が設けられている。そして、p-第 1 コンタクト層 138a および電流非注入層 139 上には、p-第 1 コンタクト層 138a よりも高い濃度で C がドーピングされた p-第 2 コンタクト層 138b および上部電極 20 が形成されている。すなわち、V 族サイトを優先的に置換する C は、活性層 15 にキャリアを注入するために活性層 15 の上側に形成された p-第 1 コンタクト層 138a と p-第 2 コンタクト層 138b との活性層 15 側にドーピングされる。p-第 1 コンタクト層 138a および p-第 2 コンタクト層 138b は、p-GaAs を層材料に含む。電流非注入層 139 は、上部電極 20 を介して外部から注入された電流を狭窄して活性層 15 に供給する層であり、水平方向に関して量子井戸層 15b におけるキャリア密度を向上させるためのものである。上部電極 20 から注入された電流が内部を通過することを防止するため、電流非注入層 139 は、導電型が n 型である n-GaAs を層材料に含む。

【0054】

図 17 に示すように、電流狭窄機能を有する層を備えた半導体レーザ素子とした場合も同様に、活性層 15 に対し p 型のクラッドを積層する側に形成された層に Zn ではなく C を不純物としてドーピングすることによって、窓領域における混晶化の促進および非窓領域における混晶化の抑制を適切に行うことができる。この結果、図 18 に示すように、窓

10

20

30

40

50

領域 2 3 においては、大きなエネルギーシフト量を得ることができ、非窓領域 2 4 においては、エネルギーシフト量を低減することができる。この場合、図 1 8 に示すように、RTA を 9 1 5 °C 以上で行うことによって、5 0 m e V 以上の窓領域 2 3 のエネルギーバンドギャップと非窓領域 2 4 のエネルギーバンドギャップとの差を得、半導体レーザ素子 1 と同様に、COD の発生を防止した信頼性の高い半導体レーザ素子を実現することができる。なお、エネルギーバンドギャップのエネルギー差は、5 0 m e V 以上であることが必要であるが、7 0 m e V であることがより好ましく、さらに 1 0 0 m e V であることがより好ましい。図 1 8 の例では、9 3 0 °C 付近でエネルギー差 7 0 m e V を実現し、9 5 0 °C 付近でエネルギー差 1 0 0 m e V を実現している。ただし、図 1 8 の例では、9 5 0 °C 付近でエネルギー差 1 0 0 m e V を実現しているが、非窓領域のシフト量が 2 0 m e V に達しており、素子性能がやや劣化する場合がある。

10

【0055】

ここで、図 1 9 ~ 図 2 3 を参照して、図 1 7 に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明する。まず、図 1 9 に示すように、基板 1 1 上に、エピタキシャル成長によって、n-バッファ層 1 2、n-クラッド層 1 3、n-ガイド層 1 4、活性層 1 5、p-ガイド層 1 6、p-クラッド層 1 7、p-第 1 コンタクト層 1 3 8 a、電流非注入層 1 3 9 を形成する n-GaAs 層を形成する。そして、SiO₂ 膜 1 4 0 を形成した後、フォトリソグラフィ工程およびエッチング工程を行い電流非注入層 1 3 9 に対応する領域以外の SiO₂ 膜 1 4 0 を除去し、図 2 0 に示すように、SiO₂ 膜 1 4 0 をエッチングマスクとして、エッチング工程を行い、電流非注入層 1 3 9 を形成する。なお、エッチングマスクは、必ずしも SiO₂ 膜でなくてもよく、次工程において形成する促進膜 2 5 をエッチングマスクとしてもよい。また、SiO₂ 膜を形成せず、レジストのみを形成しエッチングしてもよい。その後、図 2 1 に示すように、図 5 および図 6 に示す方法と同様に促進膜 2 5 および抑制膜 2 6 を形成後 RTA 処理によって混晶化し、窓領域 2 3 および非窓領域 2 4 とを形成する。そして、図 2 2 に示すように、促進膜 2 5 および抑制膜 2 6 を除去し、p-第 1 コンタクト層 1 3 8 a および電流非注入層 1 3 9 の表面に対して表面清浄化処理を行った後、図 2 3 に示すように、p-GaAs を再成長させて p-第 2 コンタクト層 1 3 8 b を形成し、上部電極 2 0 および下部電極 2 1 を形成する。なお、再成長界面には、電流非注入層 1 3 9 におけるエッチング後の表面酸化防止のために GaAs 薄膜層を設けてもよい。なお、図 2 1 に示す促進膜 2 5 形成、抑制膜 2 6 形成、RTA 処理および促進膜 2 5 および抑制膜 2 6 除去工程は、電流非注入層形成後に限らず、たとえば、電流非注入層 1 3 9 を形成する n-GaAs 層形成後に行ってもよく、p-第 2 コンタクト層 1 3 8 b 形成後に行ってもよい。上述した工程は、上部電極 2 0 を形成する前であり、活性層 1 5 を混晶化できるタイミングであれば足りる。

20

30

【0056】

また、図 1 7 において、電流狭窄機能を有する層を備えた半導体レーザ素子として、水平光モードが多モード（以下、「マルチモード」と称する。）の半導体レーザ素子について説明したが、もちろん図 2 4 に示すように、水平光モードが単一モード（以下、「シングルモード」と称する。）の半導体レーザ素子でもよい。この場合、図 2 4 に示すように、C をドーピングされた p-第 1 クラッド層 1 4 7 a と C をドーピングされた p-第 2 クラッド層 1 4 7 b との間に電流非注入層 1 3 9 が設けられる。すなわち、V 族サイトを優先的に置換する C は、活性層 1 5 の上側に形成された p-第 1 クラッド層 1 4 7 a と p-第 2 クラッド層 1 4 7 b との活性層 1 5 側にドーピングされる。図 2 4 に示すシングルモードタイプの半導体レーザ素子である場合も同様に、活性層 1 5 に対し p 型のクラッドを積層する側に形成された層に C をドーピングすることによって、窓領域 2 3 のエネルギーバンドギャップと非窓領域 2 4 のエネルギーバンドギャップとの差を十分に得ることができ、COD の発生を防止した信頼性の高い半導体レーザ素子を実現することができる。

40

【0057】

（実施の形態 2）

つぎに、実施の形態 2 について説明する。実施の形態 2 にかかる半導体レーザ素子は、

50

活性層の近傍側の層にCがドーピングされるとともに、Cがドーピングされた層よりも上部電極側に形成された層にZnがドーピングされる。

【0058】

図25は、本実施の形態2にかかる半導体レーザの横断面図である。図25に示すように、本実施の形態2にかかる半導体レーザ素子201は、電流狭窄機能を有する層を備えた半導体レーザ素子であり、p-第1コンタクト層138aおよび電流非注入層139上に、不純物としてZnがドーピングされたp-第2コンタクト層238bが形成されている。半導体レーザ素子201においては、図19および図20に示す方法と同様の方法を用いて、電流非注入層139が形成される。その後、p-第1コンタクト層138aおよび電流非注入層139に対して表面清浄化処理を行った後、p-GaAsを再成長させて、Znをドーピングしたp-第2コンタクト層238bが形成される。そして、図21および図22に示す方法と同様の方法を用いて、窓領域23および非窓領域24が形成される。その後、上部電極20および下部電極21が形成される。

10

【0059】

このように、図25に示す半導体レーザ素子201は、実施の形態1に係る図17に示す半導体レーザ素子におけるp-第2コンタクト層138bに代えて、Znを不純物としてドーピングしたp-第2コンタクト層238bが形成された構造を有する。

【0060】

ところで、図17に示す半導体レーザ素子では、Cが不純物としてドーピングされたp-第2コンタクト層138bがp-第1コンタクト層138aおよび電流非注入層139上に再成長されることによって形成される。この場合、 CCl_4 、 CBr_4 などのハロゲン化炭素の添加や、TMGaやTMAsなどの半導体構成材料の有機金属起源の炭素の使用によって、GaAsへのCのドーピングが行われる。ここで、上部電極とのオーミック接触を実現するためには、p-第2コンタクト層138bに高濃度のCをドーピングする必要がある。たとえば、p-第1コンタクト層138aのキャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるのに対し、p-第2コンタクト層138bのキャリア濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。このような高濃度のCをGaAsに円滑にドーピングするためには、600℃以下程度の比較的低温域で再成長を行ってp-第2コンタクト層138bを形成する必要がある。

20

【0061】

しかしながら、電流狭窄機能を有する層を備えた半導体レーザ素子の場合、電流非注入層139の形成工程を経るため、図26に示すように、再成長界面Bには不純物230が残留しやすく結晶品質が悪化しやすい。さらに、600℃以下の低温域における再成長では、アンチサイトやクラスタなどに起因する点欠陥231が含まれやすい。この点欠陥231に起因し、p-第1コンタクト層138aとCが不純物としてドーピングされたp-第2コンタクト層138bとの界面である再成長界面Bの結晶品質が不安定となる場合がある。このため、促進膜25によるGaの吸収や空孔の活性層15への拡散が阻害され、窓領域23の形成が円滑に行われない場合がある。さらに、点欠陥231に加え、再成長界面Bに空孔が発生する場合があり、発生した空孔の活性層15への拡散によって、抑制膜26における混晶化の抑制機能が適切に機能しない場合がある。

30

40

【0062】

これに対し、実施の形態2にかかる半導体レーザ素子201においては、GaAsに高濃度のZnをドーピングしてp-第2コンタクト層238bを形成している。ここで、Znをドーピングする場合、Cをドーピングする場合よりも高い温度域、たとえば650℃以上の高温域において再成長を行っている。このように半導体レーザ素子201では、高温域で再成長を行っていることから、点欠陥の発生が抑制されるものと考えられるため、半導体レーザ素子201においては、点欠陥に起因する促進膜25の促進機能の劣化および抑制膜26の抑制機能の劣化の発生は低いものと考えられる。また、Znは、Cに比べて拡散しやすい特性を有する。しかし、半導体レーザ素子201は、Znをドーピングしたp-第2コンタクト層238bと活性層15との間に、p-ガイド層16、p-クラッ

50

ド層 17、p-第1コンタクト層 138aを有する。特に、p-クラッド層 17は、 $1\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ もの厚い膜厚で形成されている。このため、半導体レーザ素子 201においては、p-第2コンタクト層 238bと活性層 15との間には、RTAによってZnが拡散した場合であってもZnが活性層 15に到達しない程度の距離が設けられている。したがって、RTAを行った場合であっても、Znが活性層 15に到達せず、非窓領域 24における量子井戸層 15bのレーザ発振性能は、阻害されないものと思われる。

【0063】

この半導体レーザ素子 201の窓領域および非窓領域におけるエネルギーバンドギャップ差について説明する。図 27は、半導体レーザ素子 201の窓領域と非窓領域における、RTAの熱処理温度とエネルギーシフト量との関係を示す図である。図 27に示すように、RTAを 900°C で行うことによって、 50meV 以上の窓領域 23のエネルギーバンドギャップと非窓領域 24のエネルギーバンドギャップとの差を得ることができる。さらに、RTAの熱処理温度を 900°C 以上、たとえば、 940°C で行った場合であっても、非窓領域 24におけるエネルギーシフト量が低く抑えられているうえに、窓領域 23においては、大きなエネルギーシフト量が得られている。半導体レーザ素子 201においては、活性層 15とp-第2コンタクト層 238bとの間にp-ガイド層 16、p-クラッド層 17およびp-第1コンタクト層 138aが形成されているため、RTAによってp-第2コンタクト層 238bからZnが拡散した場合であっても、拡散したZnは活性層 15に到達していないものと考えられる。言い換えると、半導体レーザ素子 201においては、活性層 15とZnをドーピングしたp-第2コンタクト層 238bとの間の距離を、p-第2コンタクト層 238bから拡散したZnが活性層 15に到達できない距離に設定していることとなる。特に、p-クラッド層 17は、 $1\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ もの厚さであるため、p-第2コンタクト層 238bから拡散したZnは活性層 15に到達できないものと考えられる。なお、エネルギーバンドギャップのエネルギー差は、 50meV 以上であることが必要であるが、 70meV であることがより好ましく、さらに 100meV であることがより好ましい。エネルギー差、 50meV 、 70meV 、 100meV に相当する熱処理温度は、図 27の例では、それぞれ 905°C 、 912°C 、 930°C 程度の熱処理により実現していることがわかる。

【0064】

実際に、図 28に、実施形態 1におけるC、実施形態 2におけるZn、従来技術におけるZnの活性層からの距離と不純物のドーピング濃度との関係を示す。従来技術にかかる半導体レーザにおいてドーピングされたZnの活性層からの距離が 1000nm 程度と短いのに対し、実施の形態 2においては、ドーピングされたZnの活性層からの距離は、 1400nm 程度と長いものである。さらに、実施の形態 2においては、ドーピングされたZnの活性層からの距離を、 2300nm 程度まで広げることによって、Znのドーピング濃度を、実施の形態 1における半導体レーザ素子 1においてドーピングされたCのドーピング濃度と同程度の $1.0\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 台まで高くすることができる。したがって、実施の形態 2における半導体レーザ素子 201においては、ドーピングされたZnの活性層からの距離をRTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上に広げることによって、Znのドーピング濃度を半導体レーザ素子 201の用途などに合わせて柔軟に設定することが可能である。このように、実施の形態 2においては、図 28に示すように、活性層から不純物であるZnを遠ざけることで、活性層へのZnの到達を阻止できることから、信頼性の高い半導体レーザ実現のための不純物としてCに加えZnを選択することが可能になる。

【0065】

このように、本実施の形態 2では、活性層 15とZnをドーピングした層との間の距離を、RTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上とすることによって、Znを不純物として選択した場合であってもCODの発生を防止した信頼性の高い半導体レーザ素子を実現している。また、本実施の形態 2では、活性層 15とZnをドーピングした層との間の距離をRTA時のZnの拡散距離に対応させて設定することによって、不純物としてZ

nを選択できるため、各層にドーピングする不純物の選択性を広めることが可能になる。

【0066】

なお、前述したように、Cのドーピングのため600℃以下程度の低温域で再成長を行ってp-第2コンタクト層138bを形成する半導体レーザ素子1においては、p-第1コンタクト層138aとp-第2コンタクト層138bとの間の再成長界面における結晶品質の不安定化が発生するおそれがある。しかしながら、p-第2コンタクト層138bの再成長前の表面清浄化処理を高温域で行うことによって、再成長界面における結晶品質の不安定化を防止することができるものと思われる。たとえば、アルシン中での表面清浄化処理を、650℃以上の高温域において行うことによって、不純物の残留を防ぎ、再成長界面の結晶品質を安定化させる。この結果、促進膜25によるGaの吸収や空孔の活性層15への拡散および抑制膜26による混晶化の抑制機能が適切に行われ、さらに信頼性の高い半導体レーザ素子を実現できるものと考えられる。

10

【0067】

また、実施の形態2においては、マルチモードタイプの半導体レーザ素子201について説明したが、もちろん、図29に示すように、シングルモードタイプの半導体レーザ素子でもよい。図29に示す半導体レーザ素子は、図24に示した実施の形態1にかかるシングルモードタイプの半導体レーザ素子におけるp-コンタクト層18に代えて、Znが不純物としてドーピングされたp-コンタクト層248を有する。この場合も、p-ガイド層16、p-第1クラッド層147aおよびp-第2クラッド層147bの膜厚を調整し、活性層15とZnをドーピングしたp-コンタクト層248との間の距離を、RTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上とすればよい。特に、p-第1クラッド層147aおよびp-第2クラッド層147bの合計膜厚を1μm~2μmに設定することによって、p-コンタクト層248から拡散したZnは活性層15に到達できないものと考えられる。

20

【0068】

また、活性層15とZnをドーピングした層との間の距離をRTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上と設定した場合には、図30に示すように、図25に示す半導体レーザ素子201におけるp-第1コンタクト層138aに代えて、Znを不純物としてドーピングしたp-第1コンタクト層238aを形成してもよい。この場合、p-クラッド層17の膜厚は、1μm~2μmもの厚さであるため、p-第1コンタクト層238aおよびp-第2コンタクト層238bから拡散したZnは活性層15に到達できないものと考えられる。

30

【0069】

また、マルチモードタイプの半導体レーザ素子に限らず、図31に示すように、図29に示す半導体レーザ素子におけるp-第2クラッド層147bに代えて、Znを不純物としてドーピングしたp-第2クラッド層247bを形成したシングルモードタイプの半導体レーザ素子でもよい。この場合、p-ガイド層16およびp-第1クラッド層147aの膜厚を調整して、活性層15とZnをドーピングしたp-第2クラッド層247bとの距離をRTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上と設定すればよい。たとえば、p-第1クラッド層147aの膜厚を1μm~2μmに設定することによって、拡散したZnは活性層15に到達できないものと考えられる。

40

【0070】

また、電流狭窄機能を有する層を備えた半導体レーザ素子に限らず、リッジ構造の半導体レーザ素子に適用してもよい。たとえば、実施の形態1の例として図2に示した半導体レーザ素子1におけるp-コンタクト層18に代えて、図32に示すようにZnを不純物としてドーピングしたp-コンタクト層248を形成する。この場合、p-ガイド層16およびp-クラッド層17の膜厚を調整して、活性層15とZnをドーピングしたp-コンタクト層248およびp-クラッド層257との距離をRTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上と設定すればよい。たとえば、p-クラッド層17の膜厚を1μm~2μmに設定することによって、拡散したZnは活性層15に到達できないものと考えられ

50

る。さらに、図2に示した半導体レーザ素子1におけるp-クラッド層17に代えて、図32に示すようにZnを不純物としてドーピングしたp-クラッド層257を形成する。この場合、p-ガイド層16の膜厚の調整に加えRTAの熱処理温度の低温化、RTAの熱処理時間の短縮化およびZnの濃度分布調整を行うことによって、活性層15とZnをドーピングしたp-コンタクト層248およびp-クラッド層257との距離をRTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上にする。このように、本実施の形態2にかかる半導体レーザ素子は、活性層15とZnをドーピングした層との間の距離を、RTAの熱処理温度に応じたZnの拡散距離以上とし、活性層15の近傍側の層にCをドーピングされた構造とすることによって、Znを不純物として選択した場合であっても、CODの発生を防止することができるものと考えられる。

10

【0071】

また、Cを不純物としてドーピングしたp型半導体膜層を活性層上に形成した場合について説明したが、活性層上にn型半導体膜層を形成する場合には、たとえば図33に示すように、Seを不純物とドーピングすることが好ましい。Seは、VI族の原子であり、III-V族化合物半導体中では、V族サイトに入ってドナになる。Seは、GaAs中においては、促進膜25に吸収されるIII族を占めるGaとは異なる族であるV族サイトを優先的に置換する。さらに、Seは、Cと同様に拡散係数が非常に小さいため、RTAを行った場合であっても、促進膜の促進機能の劣化および抑制膜の抑制機能の劣化の発生が低減されるものと考えられる。なお、図33に示す半導体レーザ素子における基板311、p-バッファ層312、p-クラッド層313、p-ガイド層314、下部バリア層315a、上部バリア層315c、n-ガイド層316、n-クラッド層317、n-コンタクト層318は、図2に示す基板11、n-バッファ層12、n-クラッド層13、n-ガイド層14、下部バリア層15a、上部バリア層15c、p-ガイド16、p-クラッド層17、p-コンタクト層18のそれぞれ積層方向における積層箇所が同一の層とn型あるいはp型が逆の層材料で形成されている。また、n-ガイド層316、n-クラッド層317、n-コンタクト層318には、Seがドーピングされている。

20

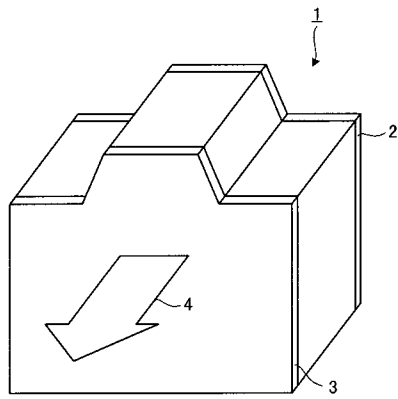
【産業上の利用可能性】

【0072】

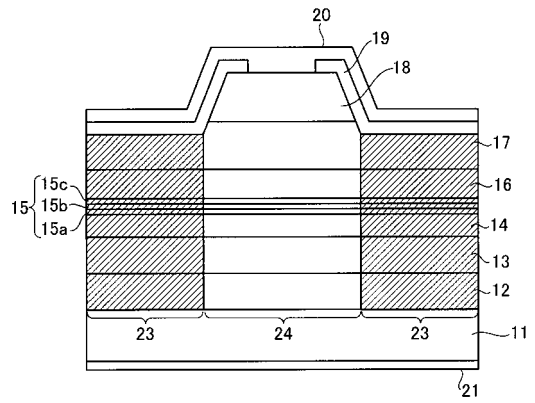
以上のように、本発明は、III族空孔の拡散によって形成された混晶化部分を含む窓領域と、量子井戸構造を有する非窓領域とを備えた半導体レーザに有用であり、特にCOD発生を抑制したい場合に適している。

30

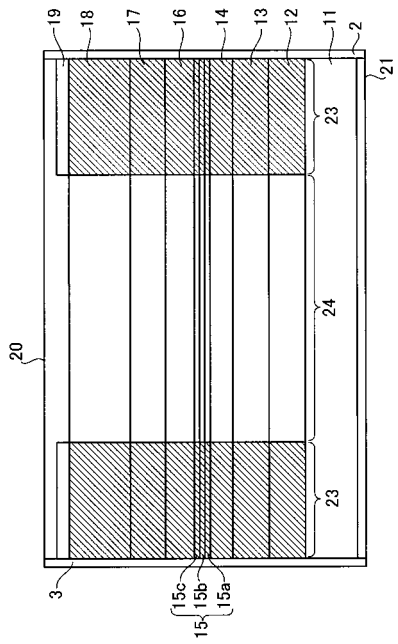
【図 1】



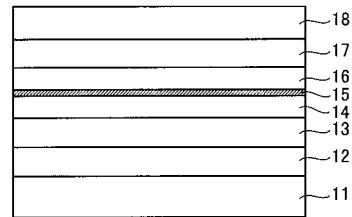
【図 2】



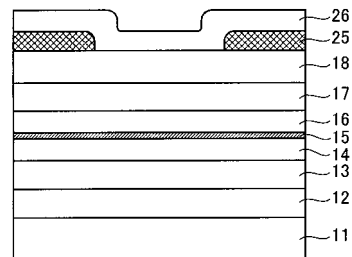
【図 3】



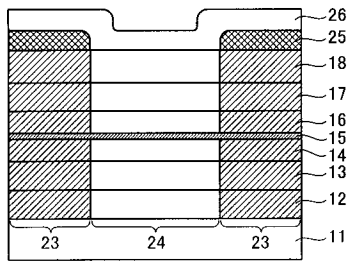
【図 4】



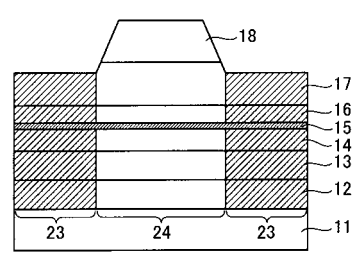
【図 5】



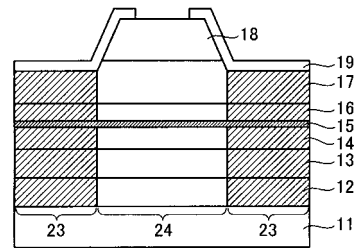
【図 6】



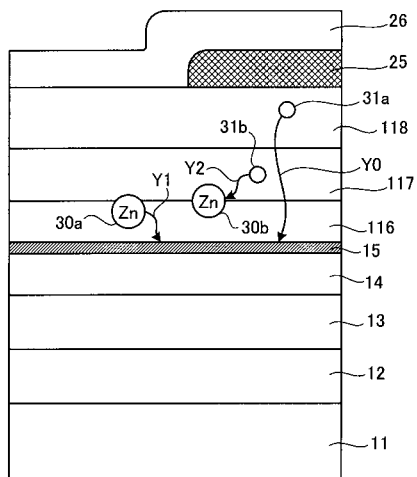
【図 7】



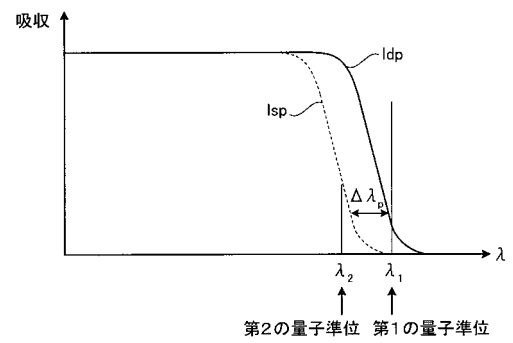
【図 8】



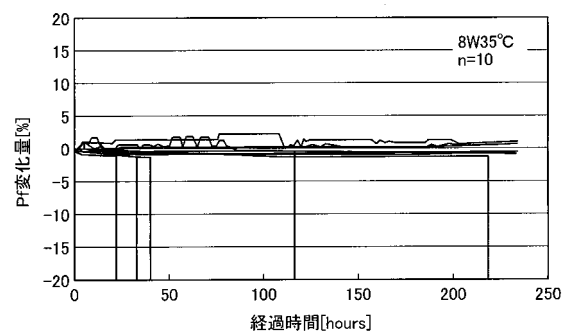
【図 9】



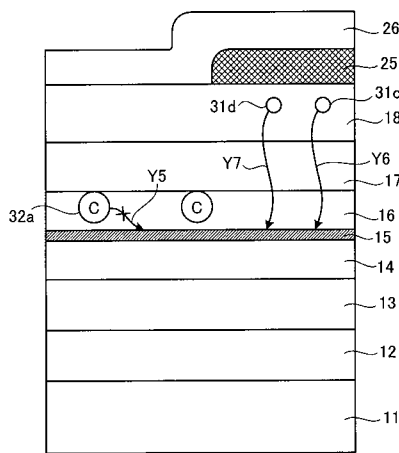
【図 10】



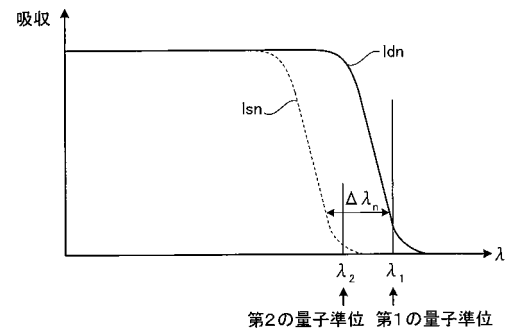
【図 11】



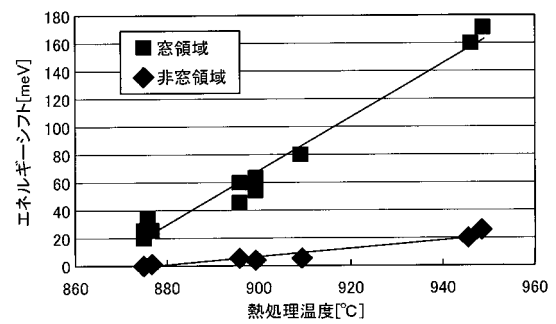
【図 1 2】



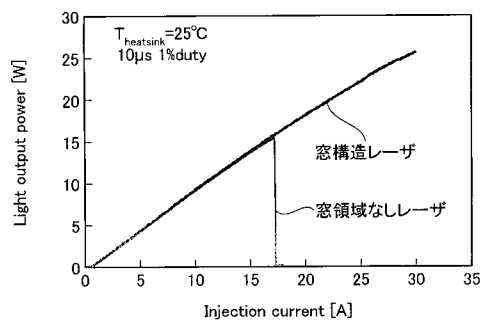
【図 1 3】



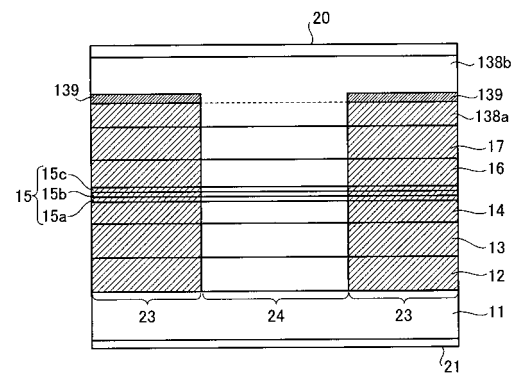
【図 1 4】



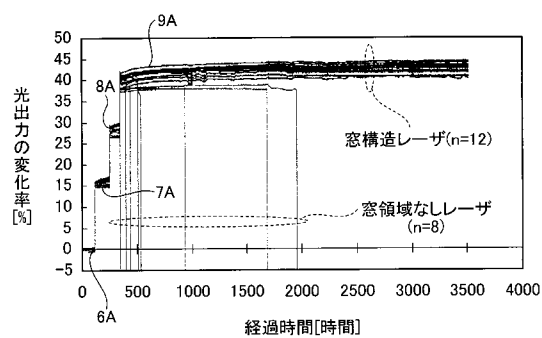
【図 1 5】



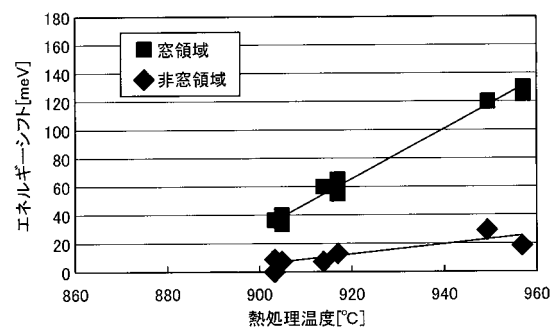
【図 1 7】



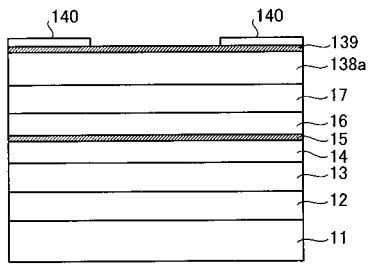
【図 1 6】



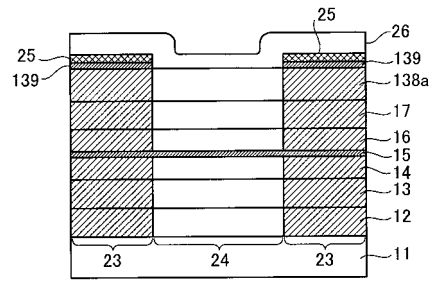
【図 1 8】



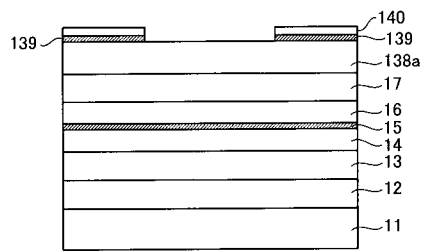
【図 19】



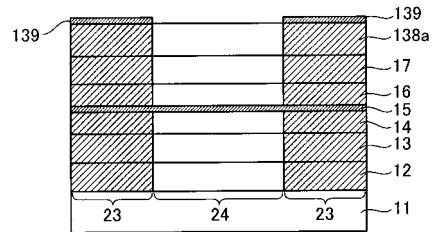
【図 21】



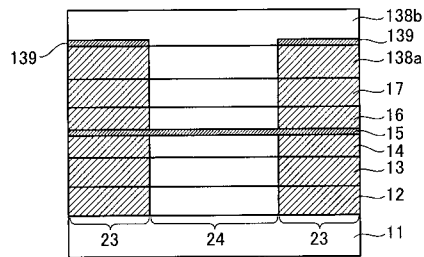
【図 20】



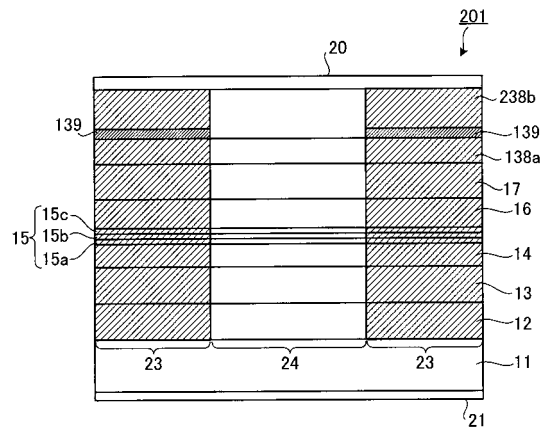
【図 22】



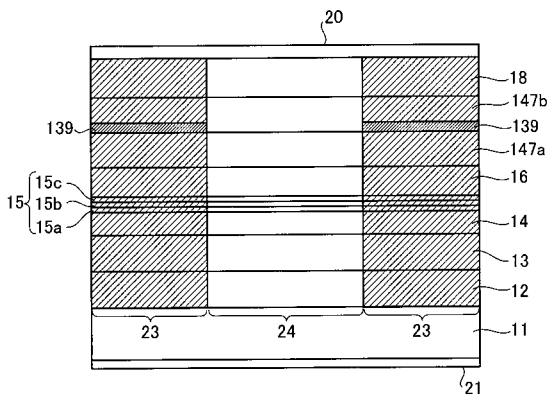
【図 23】



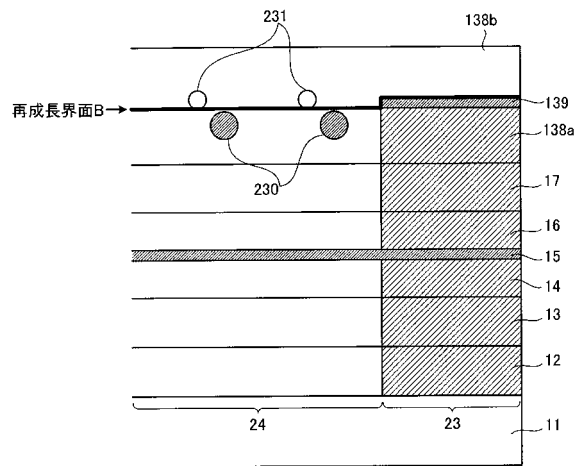
【図 25】



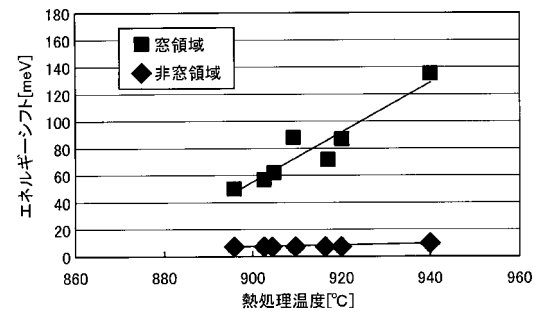
【図 24】



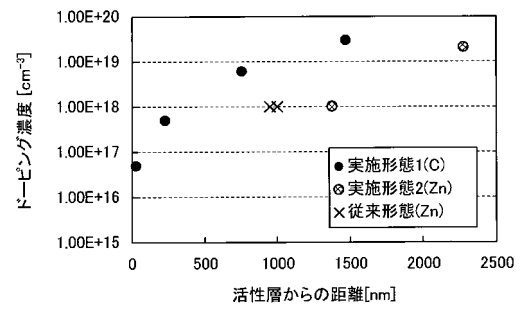
【図 26】



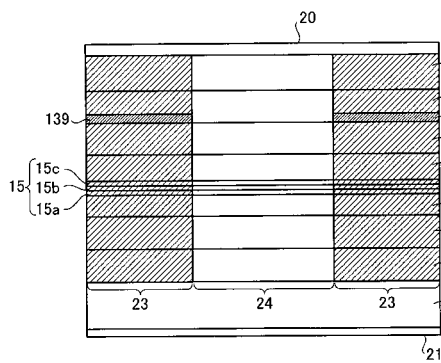
【図 27】



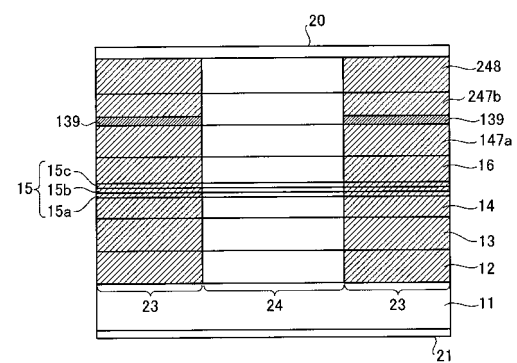
【図 28】



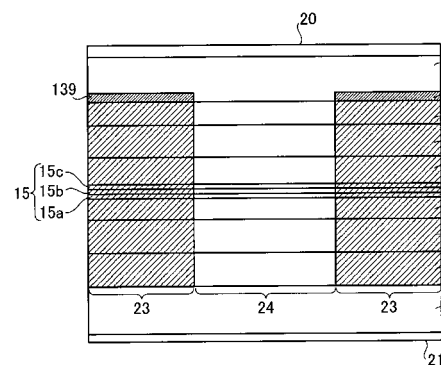
【図 29】



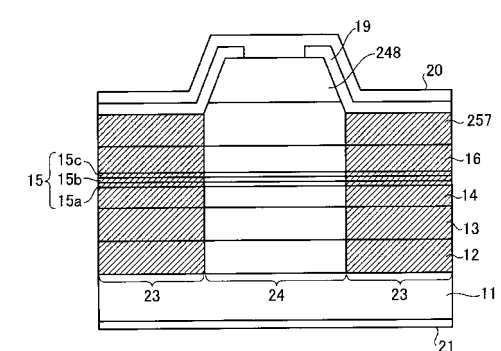
【図 31】



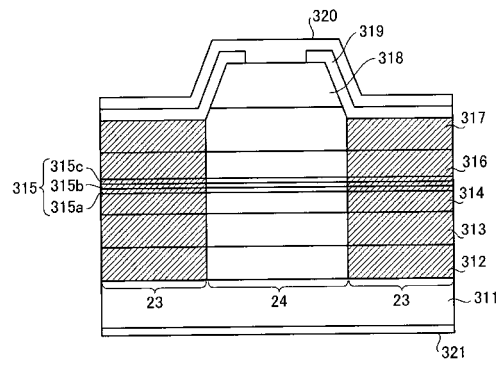
【図 30】



【図 32】



【図 33】



フロントページの続き

審査官 瀬川 勝久

(56)参考文献 谷口 英広 他, IFVD窓構造による9xx nm 高出力半導体レーザ, 電子情報通信学会技術研究報告, 2006年12月1日, Vol.106, No.404(LQE2006-103-107), p49-53

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