

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4830315号  
(P4830315)

(45) 発行日 平成23年12月7日(2011.12.7)

(24) 登録日 平成23年9月30日(2011.9.30)

(51) Int.Cl. F I  
**HO 1 S 5/22 (2006.01)** HO 1 S 5/22

請求項の数 23 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2005-56085 (P2005-56085)	(73) 特許権者	000226057 日亜化学工業株式会社
(22) 出願日	平成17年3月1日(2005.3.1)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(65) 公開番号	特開2005-311308 (P2005-311308A)	(74) 代理人	100100158 弁理士 鮫島 睦
(43) 公開日	平成17年11月4日(2005.11.4)		
審査請求日	平成20年2月4日(2008.2.4)	(74) 代理人	100068526 弁理士 田村 恭生
(31) 優先権主張番号	特願2004-62882 (P2004-62882)	(74) 代理人	100138863 弁理士 言上 恵一
(32) 優先日	平成16年3月5日(2004.3.5)	(74) 代理人	100118681 弁理士 田村 啓
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100091465 弁理士 石井 久夫
(31) 優先権主張番号	特願2004-82181 (P2004-82181)		
(32) 優先日	平成16年3月22日(2004.3.22)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザー素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の主面上に第1導電型の半導体層と、活性層と、第1導電型とは異なる導電型をした第2導電型の半導体層と、前記第2導電型の半導体層においてストライプ状領域に電流を狭窄することによって形成された導波路領域と、該導波路領域に対して略垂直な端面に設けられた共振面と、を備えてなる半導体レーザー素子において、

前記共振面に近接する領域において、前記導波路領域から離間して、前記第2導電型の半導体層に複数の凹部が形成され、

前記凹部の少なくとも一部は、前記共振面に対して傾斜した第1の構成辺と、前記共振面に対して前記第1の構成辺と異なる方向に傾斜した第2の構成辺とを有し、前記第1の構成辺と第2の構成辺が連続していることを特徴とする半導体レーザー素子。

【請求項 2】

前記凹部は、共振面の出射端面側にある請求項1に記載の半導体レーザー素子。

【請求項 3】

前記凹部の一部は、出射端面と接している、及び/又は交叉する請求項1又は請求項2に記載の半導体レーザー素子。

【請求項 4】

前記凹部の少なくとも一部の平面形状は、円形、三角形、六角形又は平行四辺形、ライン状、屈曲したライン状からなる群から選択された1以上である請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体レーザー素子。

## 【請求項 5】

前記第 1 の構成辺と前記第 2 の構成辺とが交互に配列されていることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 6】

前記凹部は、前記導波路の長手方向に複数列配列されており、前記凹部を共振面側から導波路の長手方向に見たときに、奇数列の凹部と偶数列の凹部とが互いに接する又は部分的に重なっていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 7】

前記凹部の底面は、第 1 導電型の半導体層内である請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

10

## 【請求項 8】

前記第 1 導電型の半導体層は、前記活性層の下側に形成された光ガイド層と、前記光ガイド層の下側に形成されたクラッド層を具えており、前記凹部の底面が、前記クラッド層内にあることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 9】

前記第 1 導電型の半導体層は、前記活性層の下側に形成された光ガイド層と、前記光ガイド層の下側に形成されたクラッド層と、前記クラッド層の下側に形成されたコンタクト層を具えており、前記凹部の底面が、前記コンタクト層内にあることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体レーザ素子。

20

## 【請求項 10】

前記第 2 導電型の半導体層、前記活性層及び前記第 1 導電型の半導体層の一部が除去されて、前記第 1 導電型の半導体層の表面が露出しており、

前記凹部の底面が、前記第 1 導電型の半導体層の露出した表面と同一面上にあることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 11】

前記第 2 導電型の半導体層の表面に第 2 導電型用の電極が形成されており、前記第 1 導電型の半導体層の露出した表面に第 1 導電型用の電極が形成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 12】

30

前記第 2 導電型の半導体層の表面に第 2 導電型用の電極が形成されており、前記基板の第 2 の主面に第 1 導電型用の電極が形成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 13】

前記凹部には、光吸収層を有する請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 14】

前記光吸収層は、前記活性層よりバンドギャップの狭い半導体である請求項 13 に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 15】

40

前記光吸収層は、Ni、Cr、Ti、Cu、Fe、Zr、Hf、Nb、W、Rh、Ru、Mg、Si、Al、Sc、Y、Mo、Ta、Co、Pd、Ag、Au、Pt、In、それらの酸化物、SiN、BN、SiC、及びAlNよりなる群から選択された少なくとも 1 つである請求項 13 に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項 16】

前記第 2 導電型の半導体層に前記導波路領域を形成するためのストライプ状のリッジ部が形成されており、

前記リッジ部の側面から離間して、前記第 2 導電型の半導体層にイオン注入領域を有す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 17】

50

前記イオン注入領域は、共振面の出射端面側にある請求項 1 6 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 1 8】

前記共振面の出射端面側から反射端面側に向かって、前記イオン注入領域、前記凹部を順に有する請求項 1 6 又は請求項 1 7 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 1 9】

前記共振面の出射端面側から反射端面側に向かって、第 1 の前記イオン注入領域、前記凹部、第 2 の前記イオン注入領域を順に有する請求項 1 6 乃至請求項 1 8 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 2 0】

前記イオンは、アルミニウム、ホウ素、マグネシウム、亜鉛、ベリリウム、炭素、カルシウム、プロトンよりなる群から選択される少なくとも 1 つを原料として用いる請求項 1 6 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 2 1】

前記第 2 導電型の半導体層に前記導波路領域を形成するためのリッジ部が形成されており、

前記リッジ部から離間し、かつ、前記共振面近傍の領域において前記第 2 導電型の半導体層にイオン注入領域を有することを特徴とする請求項 3 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 2 2】

前記第 1 導電型は n 型であり、前記第 2 導電型は p 型であることを特徴とする請求項 1 乃至 2 1 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 2 3】

前記第 1 導電型の半導体層、前記活性層及び前記第 2 導電型の半導体層は、窒化物半導体よりなる請求項 1 乃至 2 2 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、ファー・フィールド・パターン（以下、FFPと示す。）が良好である半導体レーザ素子に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

半導体レーザでは、光の横モード制御のためにストライプ構造を形成して、ストライプ状の導波路領域内で発光を共振させる。しかしながら、導波路領域から光が漏れると、漏れた迷光が端面から放出される弱い光となる。これによって、主レーザ光にノイズが乗り、FFPにリップルが現れるようになる。特に、半導体レーザを高出力化するに従って、この現象が顕著になる。このようなノイズ（リップル）は光ファイバーやレンズに結合する際に種々の支障が招くため、高出力、かつ、リップルのないFFPを実現可能な半導体レーザが求められている。

【0 0 0 3】

例えば、本出願人が提案した特許文献 1 では、基板上に、井戸層と障壁層とを有する多重量子井戸構造の活性層を有する半導体を積層した半導体レーザ素子において、n 型コンタクト層と基板との間に光吸収層を形成する。光吸収層は、活性層の井戸層よりもバンドギャップエネルギーが小さいアンドープの In 含有層とする。活性層で発光した光の一部が n 型クラッド層から漏れだした場合、基板よりも屈折率の大きい n 型コンタクト層の中を導波することがある。このような迷光もリップルの一因であるため、n 型コンタクト層の下側に形成した光吸収層によって吸収し、リップルを抑制する。

【0 0 0 4】

特許文献 1 では、例えば、基板の上に、光吸収層として  $In_{0.15}Ga_{0.85}N$  を  $0.2 \mu m$  の膜厚で成長させ、更にその上に n 型コンタクト層、n 型クラッド層、活性層等を積層して半導体レーザ素子とする。このようなレーザ素子構造とすることで、光閉じ

10

20

30

40

50

込め層として機能する n 型クラッド層から基板側に漏れ出した光を前記光吸収層で吸収させ、リップルを抑制する。

【特許文献 1】特開 2000 - 196199 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、上記従来の半導体レーザ素子では、リップルの抑制がまだ不十分である。また、特許文献 1 に示す半導体レーザ素子は、半導体の積層体に光吸収層を余分に追加した構造である。光吸収層は光吸収作用を有するだけの In を含有する組成とする必要があるが、In を多く含む窒化物半導体は一般に結晶性が低い。そのため、光吸収層の上に積層させる他層の結晶性が低下し易く、それを防止するために他層の膜厚や組成に制約が発生する恐れがある。

10

【0006】

そこで、本発明は、FFP がリップルの少ない良好なガウシアン形状とな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】

本発明の半導体レーザ素子は、基板の主面上に第 1 導電型の半導体層と、活性層と、第 1 導電型とは異なる導電型をした第 2 導電型の半導体層と、前記第 2 導電型の半導体層においてストライプ状領域に電流を狭窄することによって形成された導波路領域と、該導波路領域に対して略垂直な端面に設けられた共振面と、を備えてなる半導体レーザ素子において、

20

前記共振面に近接する領域において、前記導波路領域から離間して、前記第 2 導電型の半導体層に複数の凹部が形成され、前記凹部の少なくとも一部は、前記共振面に対して傾斜した第 1 の構成辺と、前記共振面に対して前記第 1 の構成辺と異なる方向に傾斜した第 2 の構成辺とを有し、前記第 1 の構成辺と第 2 の構成辺が連続していることを特徴とするものである。

【0008】

上記構成とすることで、共振面の導波路近傍から迷光が出てくるのを防止することができる。その理由は前記複数の凹部によって迷光を散乱・屈折させるからである。前記凹部は、共振面の出射端面側にあることが好ましい。

30

【0009】

ここで、凹部は少なくとも 2 以上形成することが好ましい。これによって、高い散乱効果を奏する。更に前記半導体レーザ素子は、導波路領域の両側に凹部を有することが好ましい。これによって、得られるビーム形状をより左右対称にする効果を奏するからである。

【0010】

尚、本件発明において導波路領域とは、ストライプ状をした光を伝搬する領域である。ここで伝搬された光が共振面で共振することにより増幅されてレーザ発振する。また導波路領域には、電流を効率良く注入することができるよう導波路領域に向かって電流が狭窄される。電流を導波路領域に狭窄するために、共振面側から見た第 2 導電型の半導体層の断面形状が凸部形状であることが好ましい。これによって光閉じ込め作用も有するからである。以下の説明では、この凸部をリッジ部と称することがある。

40

【0011】

基板は、単一の半導体のみから形成された単体基板であることが好ましい。但し、基板は、基板表面を構成している半導体とは異なる異種材料を基板全面にわたって、又は部分的に備えていても良い。基板が具える異種材料とは、例えばサファイア、SiC、Si、スピネル、SiO<sub>2</sub>、SiN 等である。また半導体は、化合物半導体であって、特に III-V 族化合物半導体、II-VI 族化合物半導体等であることが好ましい。具体例とし

50

ては、GaN系化合物半導体、GaAs系化合物半導体、ZnO系化合物半導体等がある。

【0012】

凹部は、共振面の出射端面側にあることが好ましい。この構成によって共振器長やリッジ部幅に関係なく、FFPの乱れを防止することができる。

【0013】

前記凹部は、共振面に接している、及び/又は共振面の近傍にあることが好ましい。ここで、凹部が共振面に接しているとは、凹部の外周が共振面と接しているものである。また凹部が共振面の近傍にあるとは、凹部の外周と共振面との最短距離が10 $\mu$ m以内にあるものである。これらの構成によって、導波損失を低減することができる。また、半導体レーザのリニアリティを確保しやすくなる。さらに、導波路からの光の漏れは、導波路の長手方向全域に渡って起こる。従って、できるだけ出射端面に近い位置で光を散乱・屈折することによって、リップルの発生を一層効果的に抑制できる。

10

【0014】

またさらに、凹部が、出射端面と接する、又は交叉して、出射端面に切欠きが形成されることが好ましい。これによって、共振面を劈開で形成する工程において、劈開位置を安定させることができる。従って、チップ化した半導体レーザ素子の端面形状を同一形状として提供することができる。

【0015】

本発明の半導体レーザ素子において、共振面に平行な断面において、前記凹部の側面が基板主面に対して傾斜していることが好ましい。この構成によって散乱効果を高めることができる。

20

【0016】

本発明の半導体レーザ素子において、前記凹部の平面形状は、例えば、円形、三角形、六角形、平行四辺形、ライン状、屈曲したライン状であることが好ましい。これらの形状とすることで散乱・屈折効果を調整することができる。特に凹部の平面形状が円形や六角形であれば、プロセスが容易となる。ここで、凹部の平面形状を円形とする場合の直径は、好ましくは1~10 $\mu$ m、より好ましくは2~5 $\mu$ mである。

【0017】

本発明の半導体レーザ素子において、凹部の底面は、第1導電型の半導体層内であることが好ましい。半導体レーザ素子は、基板の主面上に第1導電型の半導体層、活性層、第2導電型の半導体層の順に積層されているため、凹部の底面は第2導電型の半導体層のみならず、活性層を貫通して第1導電型の半導体層に達している。この構成によって迷光が散乱する効果を高めることができる。

30

【0018】

凹部には、光吸収層を有することが好ましい。これによって迷光が凹部を通過する際に、迷光を散乱・屈折するだけでなく、吸収することができる。従って、FFPのリップルを一層抑制できる。

【0019】

光吸収層は、活性層よりバンドギャップの狭い半導体であることが好ましい。具体例としては、活性層にInを含有するGaN系半導体を用いる場合には、光吸収層は記活性層よりもIn混晶比が高いGaN系半導体とすることが好ましい。その他にはInP系半導体、GaAs系半導体等を用いることもできる。この構成によって効率よく光吸収を行うことができる。

40

【0020】

凹部に形成する光吸収層は、Ni、Cr、Ti、Cu、Fe、Zr、Hf、Nb、W、Rh、Ru、Mg、Si、Al、Sc、Y、Mo、Ta、Co、Pd、Ag、Au、Pt、In、これらの酸化物、SiN、BN、SiC、及びAlNよりなる群から選択された少なくとも1つである。この構成によって効率よく光吸収を行うことができる。また、これらの材料には光吸収作用の他に光散乱作用を備えたものがある。また、SiN、BN、

50

SiC、AlNは非晶質であることが好ましい。

【0021】

また、前記第2導電型の半導体層に前記導波路領域を形成するためのストライプ状のリッジ部が形成されており、前記リッジ部の側面から離間して、前記第2導電型の半導体層にイオン注入領域を有することが好ましい。

【0022】

上記構成とすることで、ストライプ状のリッジ部の近傍において、凹部のよって迷光を散乱するだけでなく、さらに吸収することができる。吸収できる迷光の波長は、材料によって異なるが、365nm以下の紫外領域から600nm以下の領域であることが好ましい。活性層やガイド層を含んだコア領域を導波する迷光を吸収することによって良好なFFPを得ることができる。

10

【0023】

リッジ部は、導波路領域として機能しており、ストライプ状に光を閉じ込める領域である。リッジ部は、断面形状を凸形状としており、ここで閉じ込めた光を増幅させて共振面の出射端面側からレーザ発振させる。リッジ部は、電流を効率良く注入することができる狭窄領域であり、光閉じ込め作用も有することになる。

【0024】

イオン注入領域は、リッジ部の近傍であって、共振面の出射端面側に形成することが好ましい。但し、イオン注入領域がリッジ部に接していると導波路領域の結晶性を低下させるため、イオン注入領域がリッジ部から離間していることが必要である。イオン注入領域の形状は、リッジ部を中心にリッジ部の両側に1~10μm離れた領域から外側へ延びる領域であることが好ましい。イオン注入領域は、リッジ部のストライプ方向には、出射端面から20μm以内の範囲であることが好ましい。

20

【0025】

共振面の出射端面側から反射端面側に向かってイオン注入領域、凹部を順に有することが好ましい。この構成によって、反射端面から戻ってきた光を凹部で散乱・屈折させ、出射端面側での導波光をイオン注入領域で吸収することができる。以上より主レーザ光のFFPにリップルの少ない半導体レーザ素子を容易に得ることができる。ここで、出射端面からイオン注入領域があることが好ましく、出射端面から凹部までの距離は少なくとも1μm以上とすることが望ましい。

30

【0026】

共振面の出射端面側から反射端面側に向かって第1のイオン注入領域、凹部、第2のイオン注入領域を順に有するようにしても良い。この構成によって、反射端面から戻ってきた光を第1のイオン注入領域で吸収し、更に凹部では迷光を散乱・屈折し、出射端面側での導波光は第2のイオン注入領域で吸収することができる。

【0027】

第1のイオン注入領域は迷光を吸収するものであるが、第2のイオン注入領域はキャパシタンスを低下させる効果をも有する。すなわち、第2のイオン注入領域が電極の下方にあれば、半導体レーザのキャパシタンスを低下できる。半導体レーザのキャパシタンスが低下すれば、半導体レーザの応答速度が向上するため有利である。例えば、第1のイオン注入領域のイオンをAlとすれば、第2のイオン注入領域のイオンはB又はAlとすることが好ましい。第1のイオン注入領域と凹部、また凹部と第2のイオン注入領域とは連続していることが好ましい。

40

【0028】

本発明の半導体レーザ素子において、イオン注入領域に注入するイオンは、アルミニウム(Al)、ホウ素(B)、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、ベリリウム(Be)、炭素(C)、カルシウム(Ca)、プロトン(H)よりなる群から選択される少なくとも1つであることが好ましい。これらの材料は深さ方向にイオン注入領域を容易に形成することができる。具体的には活性層よりも下層までイオン注入領域を形成することができ

50

る。

【0029】

さらに別の態様では、基板の主面上に第1導電型の半導体層と、活性層と、第1導電型とは異なる導電型をした第2導電型の半導体層と、前記第2導電型の半導体層にストライプ状のリッジ部と、該リッジ部に対して略垂直な端面に共振面とを備えてなる半導体レーザ素子において、前記共振面の出射端面側であって、リッジ部の側面から離間している前記第2導電型の半導体層に光吸収領域と光散乱領域とを有する。光散乱領域とは、迷光を散乱する領域である。

【0030】

本発明の半導体レーザ素子において、前記第1導電型の半導体層、前記活性層、前記第2導電型の半導体層は、窒化物半導体よりなる。窒化物半導体の一般式は、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ ) である。

【0031】

第1の半導体層はn型窒化物半導体を有し、前記第2の半導体層はp型窒化物半導体を有することが好ましい。また、n型窒化物半導体にはn型不純物として、Si、Ge、O等のいずれか1つ以上を含有していることが好ましい。またp型窒化物半導体には、p型不純物として、Mg、Zn等を含有していることが好ましい。

【発明の効果】

【0032】

本発明の半導体レーザ素子によれば、レーザ光のFFPのリップルを抑制することができる。また、縦方向のモードホップも抑制することができる。レーザ光のFFPのリップルを減らすことによって、レンズや光ファイバー等の光学系部材との結合やレンズ設計が容易となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1に係る半導体レーザ素子を示す斜視図である。半導体レーザ素子は、第1の主面と第2の主面とを有する半導体基板101の第1の主面上に第1導電型の窒化物半導体層200と、活性層205と、第2導電型の窒化物半導体層210とが積層されている。また、基板101は導電性を有しており、基板101の第2の主面上と、第2導電型の窒化物半導体層210上とに電極が形成された対向電極構造となっている。対向電極構造とすることによって、大電流を投入することが可能となり、高出力発振をすることができる。また、第2導電型の半導体層210には、ストライプ状のリッジ部10が形成されており、リッジ部10の下方がストライプ状の導波路領域が形成となる。この導波路領域に対して略垂直な端面20が、レーザの共振面となる。

【0034】

図2は、図1に示す半導体レーザの構造の詳細を示すX-X'断面図である。本実施の形態に係る半導体レーザは、分離閉込型(SCH型)の構造をとっている。但し、本発明は分離閉込型の構造に限定されるものではなく、光ガイド層を有しない構造であってもよい。基板101上に、n側クラッド層203、n側光ガイド層204、活性層205、p側電子閉じ込め層206、p側光ガイド層207、p側クラッド層208、p側コンタクト層209が積層されている。ここでn側クラッド層203とn側光ガイド層204が、第1導電型の窒化物半導体層200を構成する。一方、p側電子閉じ込め層206、p側光ガイド層207、p側クラッド層208及びp側コンタクト層209が、第2導電型の窒化物半導体層210を構成する。前記p側電子閉じ込め層206は、p側キャップ層と称することもある。p側コンタクト層209及びp側クラッド層208の一部がリッジ状部分を残してエッチング除去されることにより、導波路形成用のリッジ部10が形成されている。リッジ部10の両側はp側コンタクト層209の上面を露出するように絶縁膜220が形成されている。前記絶縁膜220は、絶縁層または埋込膜と称することもある。また、露出したp側コンタクト層209の表面にはp電極230が形成され、さらにpパ

10

20

30

40

50

ッド電極 250 が形成されている。一方、基板 101 の裏面には n 電極 232 が形成されている。

【0035】

また、p 側コンタクト層 209 から n 側クラッド層 203 の途中までエッチングされ、n 側半導体層 200 の一部が露出されている。この n 側クラッド層の露出面 203a は、ウエハから個々のレーザ素子を切り出す際のダイシングラインとなる。また、このエッチングによってウエハ全体の応力歪が緩和される。露出した半導体層の側面には保護膜 240 が形成されている。

【0036】

本実施の形態の半導体レーザ素子は、図 1 に示すように、導波路領域を形成するリッジ部 10 から離間した位置において、第 2 導電型の半導体層 210 の表面に複数の凹部 110 が形成されている点に特徴がある。図 1 における凹部 110 は、第 1 導電型の半導体層 200 に到達する深さとなっている。また、複数の凹部 110 は、共振面 20 の近傍にマトリックス状に配列されている。

【0037】

このように共振面 20 の近傍に複数の凹部 110 を形成することによって、半導体レーザの導波路領域から漏れた光を凹部 110 によって散乱させることができる。従って、レーザの主ビームの方向に放出される漏光を低減し、リップルの抑制された FFP を得ることができる。

【0038】

尚、図 1 においては、凹部 110 の形成領域には絶縁層 220 も p 電極 230 も形成していない。但し、凹部 110 内に露出した半導体層を保護するため、絶縁層 220 を凹部 110 の形成領域にまで形成しても良い。一方、p 電極 230 は、凹部 110 の形成領域に被せない方が好ましい。これは凹部 110 内には第 1 導電型の半導体層 200 が露出しているため、p 電極 230 との間に短絡が起きる恐れがあるためである。

【0039】

凹部 110 は、導波路から漏れだした光を散乱できるような深さに形成される。例えば、活性層 205 から横方向に漏れた光を効果的に散乱できるように、凹部 110 の底面が少なくとも第 1 導電型の窒化物半導体層 200 に達する深さであることが好ましい。特に、本実施の形態のような分離光閉込型 (SCH 型) の半導体レーザの場合は、凹部 110 の底面が第 1 導電型の半導体層 200 中の光ガイド層 204 の下面よりも下方に到達していることが好ましい。すなわち、凹部 110 の底面が第 1 導電型の半導体層 200 中のクラッド層 203 に到達していることが好ましい。これによって、n 側光ガイド層 204、活性層 205 及び p 側光ガイド層 207 で構成された導波路から漏れてきた光を効果的に散乱することができる。さらに、n 側クラッド層内にも光のしみだしによって光が漏れるため、n 側クラッド層の途中の深さまで凹部が形成されていることが一層好ましい。また、凹部 110 の底面が、レーザ素子の横幅を決めるため (又は電極形成面を露出させるため) に露出される n 側半導体層の表面 203a と同一面上にあることが好ましい。これによって、半導体レーザ素子をエッチングする際のマスク合わせの回数を減らし、半導体レーザの製造歩留まりを向上すると共に、特性バラツキを抑制することができる。

【0040】

また、凹部 110 は、レーザ共振面の出射端面 20 の側に形成することが好ましい。出射端面 20 の近傍に凹部 110 を形成することによって、出射端面 20 から放出される漏光を散乱し、レーザの主ビームと同じ方向に出射される漏光を減少させることができる。従って、FFP へのリップル発生を効果的に抑制できる。尚、凹部 110 を、レーザ素子の出射端面近傍と反射端面近傍の両方に形成しても構わない。反射端面近傍にも凹部 110 を形成すれば、レーザの反射端面でレーザ内に向かって反射される漏光を外部に散乱させることができる。従って、レーザ内で導波を繰り返す漏光を減少させ、リップルの発生を一層効果的に抑制できる。

【0041】

10

20

30

40

50

尚、凹部 110 は、共振端面からあまり離れた位置にまで形成すると、却って発光効率を低下する恐れがある。そのため、共振面から 30  $\mu\text{m}$  以内、より好ましくは共振面から 10  $\mu\text{m}$  以内の領域に凹部 110 を形成することが望ましい。

#### 【0042】

また、凹部 110 が導波路にあまり近すぎると、凹部 110 を形成する際に導波路内の半導体結晶を損傷する恐れがある。従って、凹部 110 は、その外縁が導波路（本実施の形態ではリッジ部 10）の外縁から少なくとも 0.1  $\mu\text{m}$ 、より好ましくは 0.5  $\mu\text{m}$  離れた位置に形成することが好ましい。一方、あまり導波路から離れた位置に凹部 110 を形成すると、リップル抑制の効果が低下する。従って、凹部 110 の外縁と導波路の外縁の間の最短距離は、15  $\mu\text{m}$  以下、より好ましくは 10  $\mu\text{m}$  以下であることが望ましい。

10

#### 【0043】

凹部 110 の平面形状には、種々の構成が考えられる。図 3A ~ 図 3D は、凹部 110 の平面形状の例を示す模式図である。凹部 110 の平面形状は、導波路から漏れてきた光を主ビームの進行方向に異なる方向に散乱（微視的には屈折）可能な形状であれば、いかなるものであっても良い。例えば、円形（図 3A）、六角形（図 3B）、三角形（図 3C）、ライン状（図 3D）等の種々の形態にすることができる。これらの例に示すように、導波路 10 から漏れてレーザ内を導波している光をレーザの主ビームと異なる方向に散乱／屈折するためには、凹部 110 の平面形状が、接線の方が連続的に変化する円形や楕円形であるか、又は出射端面 20 に対して傾斜した構成辺を有していることが好ましい。

#### 【0044】

20

例えば、図 3A に示すように、凹部 110 の平面形状が円形であれば、導波路と平行に進行してきた光は、円の中心を進む場合を除いて主ビームの進行方向（出射端面に対して垂直な方向）と異なる方向に曲げられる。凹部 110 の平面形状が楕円形である場合も同様である。従って、円形又は楕円形の平面形状を持つ凹部 110 を多数配列することによって、主ビームに対する漏光の影響を抑制し、良好な FFP を得ることができる。

#### 【0045】

また、図 3B ~ 図 3D に示すように、出射端面 20 に対して角度 だけ傾いた構成辺を有するにすれば、それらの構成辺を通過する光も主ビームと異なる方向に曲げられる。ここで漏光によるリップルを効果的に抑制するためには、凹部 110 の平面形状における構成辺の持つ傾斜角 が 5° ~ 70°、より好ましくは 10° ~ 60° であることが望ましい。尚、凹部 110 の平面形状は、凹部を形成する半導体層の結晶方位に応じて決めることが好ましい。例えば、半導体が六方晶系結晶（窒化物半導体結晶など）であり、出射端面が六方晶系の M 面である場合、図 3B に示すように、凹部 110 の平面形状が出射端面 20 に平行な構成辺を持つ六角形であることが好ましい。このような形状にすることによって、凹部 110 を安定した形状、寸法で形成することが可能になる。尚、凹部 110 の平面形状は、ここで示した例には限定されない。

30

#### 【0046】

尚、凹部 110 の平面形状がいずれの場合にも、凹部 110 の最も狭い部分の幅が 0.1  $\mu\text{m}$  以上、より好ましくは 0.5  $\mu\text{m}$  以上であることが望ましい。ただし、凹部 110 の平面形状が円形の場合は、凹部 110 の直径が 0.1  $\mu\text{m}$  以上、より好ましくは 0.5  $\mu\text{m}$  以上であることが望ましい。これは凹部 110 があまり小さいと、凹部 110 のつばれ等が生じやすいからである。

40

#### 【0047】

第 2 導電型の半導体層 210 に形成する凹部の数は特に限定されないが、ストライプ状の導波路に対して平行な方向にも、垂直方向にも複数個配列されていることが好ましい。例えば、ストライプ状の導波路に対して凹部を平行方向、及び垂直方向に 3 個ずつ碁盤目状に形成すれば、全体で凹部を 9 個有することになる。凹部 110 同士の間隔は、等間隔であっても、間隔が変化していても良い。また、凹部 110 同士の間は光が散乱されずに通過することになるため、凹部 110 が偶数列と奇数列で互いにずれた位置に配置されていることが好ましい。特に、凹部 110 を共振面側から導波方向にみたときに、奇数列の

50

凹部と偶数列の凹部とが互いに接する又は部分的に重なっているようにすると、漏光の散乱効率が高まる。また、発光効率を低下させずに、リップルを効果的に抑制するため、凹部 1 1 0 の配列が導波路に平行な方向よりも、導波路に垂直な方向に長く延びていることが好ましい。

【 0 0 4 8 】

凹部 1 1 0 の具体的な配列例について説明する。図 4 A ~ 図 4 D は、平面形状が円形の凹部 1 1 0 を配列した例を示す模式図である。図 4 A に示す例では、リッジ部 1 0 に垂直な方向に凹部 1 1 0 が等間隔に配置されており、その凹部 1 1 0 の配列がリッジ部 1 0 に平行な方向に 3 列繰り返されている。図 4 A の例では、凹部 1 1 0 の間隔 (= 凹部 1 1 0 の外端同士の最短距離) は、凹部 1 1 0 自身の直径と略等しい。そして図 4 A に示すように、第 1 列の凹部 1 1 0 a に対して第 2 列の凹部 1 1 0 b は半ピッチずれて配置されており、第 2 列の凹部 1 1 0 b に対して第 3 列の凹部 1 1 0 c も半ピッチずれて配置されている。これによって共振面 2 0 の側から導波路方向にレーザ素子をみたときに、偶数列の凹部 1 1 0 と奇数列の凹部 1 1 0 が互いに接するようになる。従って、レーザ内を導波路方向に進行してきた漏光は必ずいずれかの凹部 1 1 0 を通過することになり、漏光の散乱効率が高まる。尚、共振面 2 0 の側から導波路方向にレーザ素子をみたときに、偶数列の凹部 1 1 0 と奇数列の凹部 1 1 0 が互いに重なっていれば一層好ましい。そのためには、凹部 1 1 0 の間隔 (= 凹部 1 1 0 の外端同士の最短距離) を、凹部 1 1 0 自身の直径よりも小さくすれば良い。

10

【 0 0 4 9 】

図 4 B に示す例では、平面形状が円形の凹部 1 1 0 を W 字型に配列している。この場合も、共振面 2 0 の側から導波路方向にレーザ素子をみたときに、隣り合う凹部 1 1 0 同士が互いに接しているか、重なっていることが好ましい。W 型とすることによって、比較的少ない個数の凹部 1 1 0 で効果的に漏光を散乱することができる。尚、図 4 B に示す W 字型の配列を導波路に平行な方向に 2 回繰り返しても良い。また、図 4 B に示す W 字型を導波路に垂直な方向に繰り返しても良い。さらに、W 字型を M 字型にしても同様の効果を得ることができる。

20

【 0 0 5 0 】

図 4 C に示す例では、平面形状が円形の凹部 1 1 0 が、図 4 A と同様な方法で、導波路方向に 7 列繰り返されている。但し、図 4 C の例では、共振面 2 0 から離れるに従って、導波路に垂直な横の 1 列中に含まれる凹部 1 1 0 の数を漸次減らしている。また、導波路に平行な縦の 1 列中に含まれる凹部 1 1 0 の数も、導波路 (= リッジ部 1 0 ) から離れるに従って漸次減らしている。これによって、特に重要な共振器端面近傍及び導波路近傍での散乱効率を高めることができる。また、図 4 D は、図 4 C の変形例である。

30

【 0 0 5 1 】

図 5 A ~ C は、平面形状が円形の凹部 1 1 0 をいくつか連続させて、平面形状がライン状 (又は棒状) の凹部 1 1 0 を構成した例である。このとき平面視で凹部 1 1 0 が出射端面 2 0 に対して傾斜した構成辺を有するようにすることが望ましい。共振面に対して傾斜した構成辺を有することにより、傾斜した構成辺にあたった光が主ビームと異なる方向に曲げられることになり、リップルを効果的に抑制できる。図 5 A に示す例では、出射端面 2 0 に対して斜めに傾斜したライン状の凹部 1 1 0 を導波路に垂直な方向に複数個配列している。これによって、凹部 1 1 0 の間を通過する漏光が減少し、単純な円形の凹部 1 1 0 を配列した場合に比べてリップルの抑制効果が高まる。また、図 5 B 及び図 5 C は、ライン状の凹部 1 1 0 a と円形の凹部 1 1 0 b を組み合わせた例である。

40

【 0 0 5 2 】

図 6 A 及び B は、さらにライン状の凹部を連続させた例を示す。このようにライン状の凹部同士を連続することによって、凹部同士の隙間をなくし、散乱又は屈折されずに抜けてくる漏光を減少させることができる。尚、ライン状の凹部を連続させる場合には、図 6 A 及び図 6 B に示すように、傾斜方向の異なるライン状の凹部を交互に接続して、屈曲したライン状 (又は屈曲した棒状、図 6 A では W 字型、図 6 B では M 字型) とすることが好

50

ましい。W字型又はM字型に凹部を形成した場合、凹部は共振面に対する傾斜角の異なる2つの構成辺（第1の構成辺と第2の構成辺）を有することになる。また、第1の構成辺と第2の構成辺が連続しており、しかも角度の異なる第1の構成辺と前記第2の構成辺とが交互に配列されることになる。これによって、より狭い面積内に光を屈折する傾斜面を多数配置できるため、効果的なリップル抑制を行うことができる。また、異なる傾斜角を持った2種類の構成辺によって、漏光を異なる2方向に屈折させることができる。従って、屈折された漏光が特定の方向に集中することを防止できる。尚、図6Bの例では、M字型の凹部110aに、円形の凹部110bを組み合わせている。また、図6Cの例では、M字型の凹部を連続してつなげた形状となっている。

#### 【0053】

このように複数の凹部をつなげてライン状にすれば、基板の反りの影響を受けにくくなる。すなわち、基板に反りがあると凹部形成時の露光のピントがウエハ面内でずれやすくなり、凹部の寸法に大小ができ易い。このため凹部110がドット状の場合、凹部同士の間隔が部分的に広くなって、漏光が散乱・屈折されずに通過し易くなる。しかし、ドット状の凹部を連続してライン状としておけば、多少露光時のピントがずれた場合にも、凹部の幅が変化するだけであって、漏光が抜けるような隙間は形成されにくい。

#### 【0054】

図7A～Cは、凹部110の断面形状を示す模式図である。凹部110の断面形状は、図7Aに示すように基板（図示せず）の主面に垂直な側壁を有していても良いが、図7Bに示すように基板の主面に対して傾斜した側壁110sを有することが好ましい。凹部の側壁110sが基板主面に対して傾斜していることにより、凹部110の側壁110sに当たった光が側壁110sの傾斜に応じて屈折し、主ビームから外れた方向に進行しやすくなる。すなわち、凹部110によって漏光をX方向だけでなく、Y方向にも曲げることができ、リップルが一層効果的に抑制される。尚、図7A～Cに示すように、本実施の形態における凹部110の内面は保護膜220によって覆われている。

#### 【0055】

また、図7Cの例では、さらに凹部110の内壁に光吸収層（＝埋込部材）111を形成している。これによって凹部110によって漏光を散乱・屈折させると同時に吸収することができ、漏光の影響を一層抑制できる。凹部110の内壁に形成する光吸収層111は、例えば、活性層よりもバンドギャップの狭い半導体を用いることができる。活性層にInを含有するGaN系半導体を用いる場合、活性層よりもIn混晶比が高いGaN系半導体を光吸収層111とすることができる。本来のレーザ素子と同じ材料系の半導体を用いることで、半導体レーザ素子の汚染や膨張係数差による歪発生を防止することができる。また、InP系半導体やGaAs系半導体等を光吸収層111として用いても良い。さらに、光吸収層111は、金属やその金属の酸化物であっても良い。例えば、Ni、Cr、Ti、Cu、Fe、Zr、Hf、Nb、W、Rh、Ru、Mg、Si、Al、Sc、Y、Mo、Ta、Co、Pd、Ag、Au、Pt、In、これらの酸化物（例えばRhO）などを用いることができる。また、光吸収層111を、SiN、BN、SiC、AlNなどで構成することもできる。これらのSiN、BN、SiC、AlNは非晶質であることが好ましい。

#### 【0056】

尚、図7A～Cのいずれの場合においても、凹部110の内部は空洞であることが望ましい。凹部110の内部が空洞であることにより、凹部110の内壁界面に大きな屈折率差が生じ、凹部110による光の散乱・屈折効果が高まる。従って、凹部110の内側に保護膜220や光吸収層111を形成する場合であっても、凹部110が完全に埋め込まれない膜厚とすることが好ましい。尚、光吸収層は、凹部110を平坦化するまで埋め込んだ形状でも良い。但し、凹部110を平坦化するまで埋め込む場合は、凹部110による光の散乱・屈折機能が失われないように、半導体と屈折率が異なる物質を光吸収層111に用いることが必要である。

#### 【0057】

10

20

30

40

50

光吸収層 111 は、例えば、凹部 110 を形成した後、凹部 110 を形成するためのマスク（レジストパターン等）を除去する前に、形成することができる。光吸収層 111 の形成方法としては、CVD やスパッタ、蒸着等の方法を用いることができる。

【0058】

凹部 110 は、例えば、マスクを用いたエッチングによって作成できる。このときのエッチング条件を適宜選択することで、凹部の側面を垂直面や傾斜面にすることもできる。またマスクパターンによって、凹部の平面形状を円形、三角形、六角形又は平行四辺形等の所望の形にすることができる。

【0059】

第1導電型の半導体層 200、活性層 205 及び第2導電型の半導体層 210 は、いずれも化合物半導体であることが好ましい。第2導電型の半導体層は、第1導電型とは異なる導電型をしており、一方をn型半導体層とすれば、他方はp型半導体層となる。活性層 205 は多重量子井戸構造、又は単一量子井戸構造をしている。

【0060】

尚、第2導電型の半導体層 210 は、表面に凹部 110 を形成できるだけの耐久性が必要となる。従って、基板 101 からの転位が第2導電型の半導体層 210 に伝播することをできるだけ抑制した方がよい。また、活性層 205 上に再発生した転位が第2導電型の半導体層 210 に伝播することもできるだけ抑制した方がよい。このため基板 101 と各半導体層とは同一材料系の化合物半導体とすることが好ましい。

【0061】

[製造方法]

以下、本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法について説明する。

本実施の形態では、第1の主面と第2の主面とを有する基板を用いる。該基板の第1の主面側には半導体層を積層しており、第2の主面側には電極を有する。半導体層は、第1導電型の半導体層と第2導電型の半導体層とで、活性層を挟んだ分離光閉じ込め型（SCH）構造としている。これは活性層よりバンドギャップの大きい光ガイド層を活性層の上下に備えることで光の導波路を構成するものである。

【0062】

(1) 基板 101 の作成

まず、基板 101 上に半導体層を成長させる。本実施の形態では、基板には窒化物半導体基板 101 を用いる。窒化物半導体基板 101 としては、III族元素であるB、Ga、Al、In等と窒素との化合物であるGaN、AlN、AlGaN、InAlGaN等を用いることが好ましい。また、窒化物半導体基板 101 には、n型不純物やp型不純物を含有させてもよい。

【0063】

窒化物半導体基板の作製方法としては、様々なものがある。例えば、窒化物半導体と異なる材料の異種基板上に、窒化物半導体層を成長した後、成長基板として用いた異種基板を除去して、単体の窒化物半導体基板を取り出す。異種基板上に窒化物半導体層を成長させる場合、窒化物半導体層をMOCVD法やHVPE法等の気相成長法で成長させることが好ましい。より具体的には、まず、サファイアやSiC、GaAs等の異種基板上に窒化物半導体から成るバッファ層を成長する。このとき、バッファ層の成長温度は900以下とする。次に異種基板上に窒化物半導体を気相成長法によって50μm以上の厚膜で成長する。そして異種基板を除去して窒化物半導体基板を得る。異種基板の除去方法としては、研磨、研削、CMP、エッチング、電磁波照射、レーザ照射等を用いることができる。窒化物半導体の成長面を第1の主面とし、異種基板を除去することで露出した窒化物半導体基板の露出面側を第2の主面とすることが好ましい。窒化物半導体の成長は、転位を低減できるように、ELO法や選択成長法などを用いることが好ましい。ELO法には、例えば、基板や基板上に成長した窒化物半導体層に凹凸を形成した後、窒化物半導体を再成長させる方法がある。また、異種基板を除去する方法に代えて、超臨界流体中で結晶育成させる水熱合成法や、高圧法、フラックス法等で窒化物半導体のバルク単結晶を形成

10

20

30

40

50

しても良い。

【0064】

窒化物半導体基板101は、第1の主面がC面、A面又はM面とすることが好ましい。また第1の主面は、C面、A面又はM面等の結晶成長面の他に(000-1)面を有するものであってもよい。基板101の第2の主面は、(000-1)面であることが好ましい。第2の主面は、(0001)面を備えているものであってもよい。尚、本明細書において、面指数を表す括弧内のバー(-)は、後ろの数字の上に付すべきバーを表すものとする。また窒化物半導体基板の形状は特に限定されず、円形であっても、矩形であってもよい。

【0065】

窒化物半導体基板101は、転位が面内で周期的に分布しているものがある。例えば、ELO法を用いれば、低転位密度領域と高転位密度領域とが交互に形成される。低転位密度領域と高転位密度領域は、ストライプ状であることが好ましいが、ドット状などであってもよい。転位が面内で周期的に分布した窒化物半導体基板では、内部に発生する応力を緩和させる作用がはたらく。従って、基板上に応力緩和層を形成することなく窒化物半導体素子を膜厚5 $\mu\text{m}$ 以上で積層することが可能となる。低転位密度領域の単位面積当たりの転位数は、 $1 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 以下、好ましくは $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以下であることが望ましい。高転位密度領域は低転位密度領域よりも転位密度が高い領域であればよい。これらの転位測定はCL観察やTEM観察等で行うことができる。

【0066】

また、窒化物半導体基板101の第1の主面上に、第1のn型不純物を含有している第1の領域と、第1の領域とは異なるn型不純物を含有している第2の領域とを有していてもよい。窒化物半導体基板の第1の主面に第1の領域及び第2の領域を形成するには、例えば次のようにすれば良い。まず、窒化物半導体基板の作製時にn型不純物をドーブしながら窒化物半導体を成長させることで第1の領域を形成する。その後、基板の第1の主面において第1の領域以外に、第1の領域とは異なるn型不純物をイオン注入することで第2の領域を形成できる。その他に、窒化物半導体基板101の表面に凹部を形成した後、その凹部に第1の領域とは異なるn型不純物をドーブしながら窒化物半導体を再成長させることによって第2の領域を形成してもよい。このような構成をとることによって、駆動電圧を低下させることができる。

【0067】

また窒化物半導体基板101の表面にオフ角を形成していてもよい。オフ角は $0.02^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下、好ましくは $0.05^\circ$ 以上 $5^\circ$ 以下とすることが望ましい。窒化物半導体基板の表面にオフ角を形成することによって、その上に成長させる窒化物半導体の結晶品質を向上できる。また、窒化物半導体基板を成長した後、基板表面をエッチング等で研削することで新たな露出面を形成してもよい。

【0068】

前記窒化物半導体基板101に含有されているn型不純物の不純物濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ とすることが好ましい。また、窒化物半導体基板の膜厚は50 $\mu\text{m}$ 以上1mm以下、より好ましくは50 $\mu\text{m}$ 以上500 $\mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。この範囲であれば、窒化物半導体レーザ素子を形成した後の劈開が再現性よくすることができる。また窒化物半導体基板の膜厚が50 $\mu\text{m}$ 未満であればデバイス工程でのハンドリングが困難となる。

【0069】

前記窒化物半導体基板101は、基板の表面をウェットエッチング、ドライエッチング、又はCMP処理をすることで、第1の主面及び/又は第2の主面上に任意の凹凸部を形成してもよい。第2の主面とは第1の主面とは対向した面であって、第1導電型用の電極を形成する面である。ドライエッチングには、RIE(反応性イオンエッチング)、RIBE(反応性イオンビームエッチング)、ECR(電子サイクロトロン共鳴)、ICP(高周波誘導結合プラズマ)、FIB(収束イオンビーム)等がある。部分的に結晶成長面

10

20

30

40

50

を異なる面としている窒化物半導体基板であれば、該基板に発生する応力や歪みを解消するため好ましい。具体的には、該第1の主面を(0001)面とし、その他には(0001)面と異なる結晶成長面である(000-1)面、(11-20)面、(10-15)面、(10-14)面、(11-24)面を有するものである。

#### 【0070】

前記窒化物半導体基板の第2の主面には少なくとも2以上の異なる結晶成長面を有し、具体的には(000-1)面や(0001)面、(11-20)面、(10-15)面、(10-14)面、(11-24)面等を有することが好ましい。このような窒化物半導体基板であれば、該基板上に成長させた窒化物半導体素子は、素子内にかかる応力を抑制しており、劈開時におけるダメージに耐えることが可能である。

10

#### 【0071】

窒化物半導体基板は、転位密度が $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以下、好ましくは $5 \times 10^5 / \text{cm}^2$ 以下であることが好ましい。このような低転位密度の領域の上部にリッジ部を形成し導波路領域を有することで寿命特性を向上させることができる。また前記窒化物半導体基板は、2軸結晶法による(0002)回折X線ロッキングカーブの半値幅(Full Width at Half Maximum)が2分以下、好ましくは1分以下であることが望ましい。

#### 【0072】

##### (2)半導体層の成長

本実施形態では第1導電型の半導体層200をn側半導体層とし、第2導電型の半導体層210をp側半導体層とした構成とする。本実施形態の窒化物半導体レーザ素子は、活性層の両側に光ガイド層を形成したSCH(Separate Confinement Heterostructure)構造としている。更に、その両側にn側クラッド層、p側クラッド層を形成している。クラッド層には屈折率の低い窒化物半導体層を設けて光閉じ込めをする。クラッド層はキャリア閉じ込め効果もある。また、前記各層の間に応力緩衝層を有する構造としてもよい。

20

#### 【0073】

具体的には、次のような順で各層を成長させる。

##### (第1導電型の半導体層200)

まず、第1導電型の半導体層200として、n型不純物ドーパント $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ( $0 < x < 0.5$ )から成るn側クラッド層203、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ( $0 < x < 0.3$ )から成るn側光ガイド層204を成長する。n側クラッド層203は、単一層であっても、多層であっても良い。n側クラッド層203が単一層である場合、n側クラッド層203は、一般式が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ( $0 < x < 0.2$ )であって、膜厚は $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ であることが好ましい。n側クラッド層203が多層である場合、n側クラッド層が超格子構造であることが好ましい。例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ( $0 < x < 0.1$ )から成る第1の層と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ( $0.01 < y < 1$ )から成る第2の層との積層によってn側クラッド層203を構成できる。また、n側クラッド層203と基板101の第1主面上との間に、低温成長バッファ層、中間層及びクラック防止層を介在させても良い。また、n側クラッド層203と基板101の第1主面上との間に、下地層を介在させても良い。下地層は、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ( $0 < a < 0.5$ )とすることが好ましい。これにより、窒化物半導体層の表面上に発生する転位(貫通転位等)やピットを低減させることができる。下地層は単一層、または多層とすることができる。

30

40

#### 【0074】

##### (活性層205)

次に、活性層205として、一般式が $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ )で表される窒化物半導体層を成長することが好ましい。この一般式中でAl含有量を高くすると紫外域の発光が可能となる。またIn含有量を多くすれば長波長側の発光も可能である。組成を適宜選択することにより、 $360 \text{ nm} \sim 580 \text{ nm}$ までが発光可能となる。また、活性層205は、量子井戸構造にすると発光効率が向上する。ここで、井戸層の組成はInの混晶が $0 < x < 0.5$ であることが好ましい。井戸層の膜厚としては、 $30 \sim 200 \text{ \AA}$ であり、障壁層の膜厚としては、5

50

0 ~ 300 オングストロームであることが好ましい。尚、活性層の多重量子井戸構造は、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 ~ 8回繰り返してなるものであって、障壁層で終わる構成である。井戸層と障壁層とのペアを2 ~ 3回繰り返すと、しきい値を低下させて寿命特性を向上させることができる。

#### 【0075】

(第2導電型の半導体層210)

次に、第2導電型の半導体層210として、p型不純物ドーパント  $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 0.5$ ) から成るp側電子閉じ込め層206、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 0.3$ ) から成るp側クラッド層207、p型不純物ドーパント  $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 0.5$ ) から成るp側クラッド層208、p型不純物ドーパント  $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) から成るp側コンタクト層209を形成する。p側電子閉じ込め層206は省略可能である。

10

#### 【0076】

第1導電型の半導体層200及び第2導電型の半導体層210に含まれる半導体層のいずれにも、Inを混晶させてもよい。

#### 【0077】

n側クラッド層203、p側クラッド層208は単一層構造、2層構造、又は組成比がお互いに異なる2層からなる超格子構造であっても構わない。n側クラッド層の総膜厚又はp側クラッド層の総膜厚は、 $0.4 \sim 10 \mu m$ であることが好ましい。この範囲であると順方向電圧(Vf)を低減できる。また前記クラッド層の全体のAlの平均組成は、 $0.02 \sim 0.1$ である。この値は、クラックの発生を抑制し且つレーザ導波路との屈折率差を得るのに好ましい。

20

#### 【0078】

不純物の濃度は  $5 \times 10^{16} / cm^3$  以上  $1 \times 10^{21} / cm^3$  以下の範囲でドーパントされることが好ましい。不純物の濃度は  $1 \times 10^{21} / cm^3$  よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、逆に出力が低下する傾向がある。これは変調ドーパントの場合も同様である。特にn型不純物の場合、ドーパント量が  $1 \times 10^{17} / cm^3 \sim 5 \times 10^{19} / cm^3$  であることが好ましい。n型不純物がこの範囲でドーパントされていると抵抗率を低くでき且つ結晶性を損なわない。またp型不純物の場合、ドーパント量が  $1 \times 10^{19} / cm^3 \sim 1 \times 10^{21} / cm^3$  であることが好ましい。p型不純物がこの範囲でドーパントされていると結晶性を損なわない。前記n型不純物としてはSi、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr、Cd等が挙げられ、またp型不純物としてはMgの他にBe、Zn、Mn、Ca、Sr等が挙げられる。窒化物半導体基板や窒化物半導体層は、有機金属化学気相成長(MOCVD)法、やハライド気相エピタキシャル成長(HVPE)法、分子線エピタキシー(MBE)法等の気相成長法を用いて成長させる。

30

#### 【0079】

(3) エッチングによるn側半導体層200の露出

窒化物半導体基板101上にn側半導体層200、活性層205及びp側半導体層210を積層したウェハを半導体成長装置の反応容器から取り出す。次に、応力緩和の目的のために、レーザ素子の側面にあたる位置において、p側半導体層210、活性層205及びn側半導体層200の一部をエッチングし、n側半導体層200を部分的に露出させる。n側半導体層200の露出面は、特に限定するものではないが本実施形態ではn側クラッド層203としている。エッチングには、 $Cl_2$ 、 $CCl_4$ 、 $BCl_3$ 、 $SiCl_4$  ガス等を用いたRIE法を用いることができる。

40

#### 【0080】

(4) 導波路の形成

次に、p側半導体層210にストライプ状の導波路領域を形成する。p側半導体層210の最上層であるp側コンタクト層209の表面に $SiO_2$ 等より成る保護膜を形成する

50

。この保護膜のパターンはストライプ状の導波路領域を形成するためのパターン形状をしている。保護膜のパターニングは、フォトレジストを用いたフォトリソグラフィにより行うことができる。まず、 $\text{SiO}_2$ の上にフォトレジストをコートし、次に投影露光装置を用いてフォトレジストを露光する。このとき露光を $400\text{nm}$ 以下の短波長の光で行うことが好ましい。例えば、 $400\text{nm}$ 以下より好ましくは $370\text{nm}$ 以下の紫外光で露光を行うと、窒化物半導体基板101が光を吸収する。従って、窒化物半導体基板101の裏面における光の乱反射がなくなり、精度良くパターニングすることができる。この方法は、リッジ部形成以外のあらゆるパターニング工程で有効である。そして、パターニングされたフォトレジストをマスクとして、 $\text{SiO}_2$ をストライプ状にパターニングし、 $\text{SiO}_2$ をマスクとして、ストライプ状の導波路領域以外のp型半導体層210をエッチングする。エッチングには $\text{Cl}_2$ や $\text{CCl}_4$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{BCl}_3$ のような塩素系のガスを用いたRIE法が好ましい。導波路領域であるリッジ部10の幅は $1.0\mu\text{m} \sim 50.0\mu\text{m}$ とすることが好ましい。導波路領域のストライプ方向の長さは $300\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ であることが好ましい。特にシングルモードのレーザー光とする場合、リッジ部10の幅は $1.0\mu\text{m} \sim 2.0\mu\text{m}$ に狭くするのが好ましい。一方、リッジ部の幅を $10\mu\text{m}$ 以上に広くすれば、 $200\text{mW}$ 以上の出力が可能となる。リッジ部10の高さ(エッチングの深さ)は、本実施の形態ではp側クラッド層208が露出する深さとなっている。但し、大電流を流すと、リッジ部10以下で電流が急激に横方向に広がりやすい。そのためリッジ部を深く形成することが好ましい。例えば、p側光ガイド層207が露出する深さまでエッチングしてリッジ部を形成することが好ましい。

10

20

## 【0081】

## (5) 凹部の形成

ストライプ状の導波路領域であるリッジ部10を形成した後、p側半導体層210の表面に凹部110を形成する。凹部110は導波路領域を規定するリッジ部10から離間した位置に形成する。凹部110は、リッジ部10の端から $0.1\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以上離すことが望ましい。

## 【0082】

まず、出射端面20の近傍でリッジ部10から離間した位置にフォトリソグラフィ技術を用いて複数の開口部を有するレジストパターンを形成する。ここで、レジストパターンの開口部は、凹部110の平面形状を規定する。レジストパターンは半導体層をエッチングすることができるだけの膜厚があればよい。

30

## 【0083】

次に、凹部110を形成するために、半導体層のエッチングを行う。このエッチングの深さによって凹部の深さが決まる。エッチングの深さは、n側半導体層200に到達することが好ましい。凹部の深さは、 $0.1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ であることが好ましい。その後、剝離液でレジストパターンを除去する。

## 【0084】

尚、凹部110の形成は、上記工程(3)のn側層200の露出工程と同時に行っても良い。その場合、凹部110の底面とn側層200の露出面203aの高さが同一となる。凹部110の形成をn側半導体層200の露出と同時に行うことによって、半導体レーザー素子の歩留まりが向上し、特性も安定する。すなわち、本実施の形態で説明した方法では、工程(3)のn側半導体層の露出と、工程(4)の導波路の形成、工程(5)の凹部の形成の合計3回のエッチングを行うことになる。このためエッチングを行うためのマスクの位置合わせを3回行うことになり、マスクの位置ズレによる不良や特性バラツキが発生し易い。工程(3)のn側半導体層の露出と、工程(5)の凹部の形成とを同時に行えば、マスク合わせの回数が減り、マスクの位置ズレによる不良発生や特性バラツキを抑制できる。

40

## 【0085】

## (6) 絶縁膜220の形成

その後、リッジ部の側面を絶縁膜220で保護する。この絶縁膜220とは半導体層よ

50

りも屈折率が小さく、絶縁性の材料から選ばれる。具体例としては、 $ZrO_2$ 、 $SiO_2$ 、その他にはV、Nb、Hf、Ta等の酸化物である。絶縁膜220は、凹部110の形成領域にも形成することが好ましい。それによって凹部110の内面に露出したn側半導体層200がp電極230とショートすることを防止できる。

#### 【0086】

##### (7) p電極230の形成

リッジ部10の側面を絶縁膜(=埋込膜)220で保護した後、p側コンタクト層209の表面にp電極230を形成する。好ましくは、p側コンタクト層209及び絶縁膜220の上にp電極230を形成する。p電極230は、例えばNiとAuから成る2層構造のような多層構造とすることが好ましい。p側コンタクト層209上にNiを50 ~ 200 の膜厚で形成し、次にAuを500 ~ 3000 の膜厚で形成する。また、p電極を3層構造とする場合にはNi/Au/Pt、Ni/Au/Pd等にしても良い。このような3層構造において、Niを50 ~ 200 の膜厚で形成し、Auを500 ~ 3000 の膜厚で形成し、最終層となるPtやPdは500 ~ 5000 の膜厚で形成することが好ましい。

10

#### 【0087】

p電極230を形成した後、オーミックアニールを行う。詳細な条件としては、アニール温度を300 以上、好ましくは500 以上とする。またアニールを行う雰囲気を窒素及び/又は酸素を含有する条件とする。

#### 【0088】

##### (8) 保護膜240、pパッド電極250の形成

その後、前工程で露出したn側半導体層200の側面等に保護膜240を形成する。次に、p電極230の上にパッド電極250を形成する。またパッド電極250は、Ni、Ti、Au、Pt、Pd、W等の金属からなる積層体とすることが好ましい。例えば、パッド電極250は、p電極側からW/Pd/Au、又はNi/Ti/Auの順に形成することが好ましい。パッド電極250の膜厚は特に限定されないが、最終層のAuの膜厚を1000 以上とすることが好ましい。尚、本発明における半導体レーザ素子は、図1や図2に示すように保護膜240はp電極230を被覆するものに限定されない。

20

#### 【0089】

##### (9) n電極232の形成

窒化物半導体基板101の第2の主面にn電極232を形成する。n電極232は、CVDやスパッタ、蒸着等で形成することができる。n電極232は、少なくともTi、Ni、Au、Pt、Al、Pd、W、Rh、Ag、Mo、V、Hfから成る群より選ばれる少なくとも1つを有することが好ましい。またn電極232は、多層構造とし、その最上層をPtまたはAuにすると、n電極232からの放熱性を向上させることができる。また、これらの材料を選択することによって、特に窒化物半導体から成る基板101との間のオーミック特性が良好になる。また、窒化物半導体から成る基板101とn電極232との密着性も良くなるため、ウェハーからバー化又はチップ化するための劈開工程でn電極232が剥がれにくくなる。n電極232の膜厚は、10000 以下、好ましくは6000 以下とすることが望ましい。n電極232を多層構造とする場合、第1の層をV、Ti、Mo、W、Hf等とすることが好ましい。ここで第1の層の膜厚は500 以下とする。また第1の層をWにした場合、300 以下とすると良好なオーミック特性が得られる。第1の層をVとすれば、耐熱性が向上する。ここで、Vの膜厚は50 以上300 以下、好ましくは70 以上200 とすると、良好なオーミック特性を得ることができる。

30

#### 【0090】

前記n電極232がTi/Alである場合、膜厚が10000 以下とすることが好ましい。例えば、膜厚を100 / 5000 とする。またn電極232として基板側からTi/Pt/Auの順に積層した場合、膜厚は60 / 1000 / 3000 とすることが好ましい。その他のn電極としては、基板側からTi/Mo/Pt/Auとすれば、

40

50

例えばTi(60)/Mo(500)/Pt(1000)/Au(2100)となる。n電極がTi/Hf/Pt/Auであれば、例えばTi(60)/Hf(60)/Pt(1000)/Au(3000)となり、Ti/Mo/Ti/Pt/Auであれば、Ti(60)/Mo(500)/Ti(500)/Pt(1000)/Au(2100)の順に積層することができる。また、W/Pt/Au、W/Al/W/Au等にしても良い。基板側から、Hf/Al、Ti/W/Pt/Au、Ti/Pd/Pt/Au、Pd/Pt/Au、Ti/W/Ti/Pt/Au、Mo/Pt/Au、Mo/Ti/Pt/Au、W/Pt/Au、V/Pt/Au、V/Mo/Pt/Au、V/W/Pt/Au、Cr/Pt/Au、Cr/Mo/Pt/Au、Cr/W/Pt/Au等であっても良い。またn電極を形成した後、300以上でアニールしてもよい。

10

#### 【0091】

本実施の形態のn電極232は、矩形状に形成される。n電極232は、基板101の第2の主面側に、窒化物半導体基板をバー化するためのスクライプラインとなる領域を除く範囲に形成される。更にメタライズ電極(省略可能)を、n電極と同様のパターン形状でn電極上に形成すると、スクライプし易くなり劈開性が向上する。メタライズ電極としてはTi/Pt/Au/(Au/Sn)、Ti/Pt/Au/(Au/Si)、Ti/Pt/Au/(Au/Ge)、Ti/Pt/Au/In、Au/Sn、In、Au/Si、Au/Ge等を用いることができる。ここで、カッコは、カッコ内の金属が共晶になっていることを示す。

#### 【0092】

また、n電極232の形成前に、窒化物半導体基板101の第2の主面に段差を形成してもよい。これによってn電極232のオーミック特性や密着性が向上する。第2の主面を(000-1)面とすれば、段差を形成することで(000-1)面以外の傾斜面を露出することができる。ここで傾斜面の面指数等は一面に限定されず、傾斜面は(10-15)、(10-14)、(11-24)面等の複数の面指数を持つ。傾斜面は、n極性を示す面における表面積の0.5%以上であることが好ましい。より好ましくは1%以上20%以下である。ここで、段差は、0.1 $\mu$ m以上とすることが好ましい。段差形状は、テーパ形状でも逆テーパ形状でもよい。また、段差の平面形状は、ストライプ状、格子状、島状、円状、多角形状、矩形状、くし形状、メッシュ形状などにすることができる。これらの平面形状の部分が凹部になるように形成しても、凸部になるように形成しても

20

30

#### 【0093】

##### (10)共振面の形成

n電極232を形成した後、ストライプ状のp電極230に垂直な方向にウェハーをバー状に分割して共振面を形成する。ここで、共振面は、M面(1-100)やA面(11-20)であることが好ましい。ウェハーをバー状に分割する方法としては、ブレードブレイク、ローラーブレイク、又はプレスブレイク等がある。

40

#### 【0094】

本実施形態の半導体レーザ素子は、ウェハーの分割工程を下記の2段階で行うことが好ましい。この方法によって、共振面を歩留まり良く形成することができる。

1)まず窒化物半導体基板の第1の主面側、又は第2の主面側からスクライプにより予め劈開補助線を形成する。劈開補助線は、バーの全幅に渡って、若しくはバー内で各素子の両端に該当する位置に形成する。好ましくは、劈開補助溝をバーを形成する劈開方向に破線状に間隔をあけて形成する。これによって、劈開方向が屈曲することを抑制することができる。なお、劈開補助線はエッチング等により形成してもよい。また、n側半導体層

50

を露出する工程や凹部を形成する工程等の他工程と同時に行うこともできる。

2) 次にブレイカーによりウェハーをバー状に分割する。劈開方法には、ブレードブレイク、ローラーブレイク、又はプレスブレイク等がある。前記n電極は、半導体基板の第2の主面に部分的、又は全面に形成されている。

【0095】

窒化物半導体基板の第1の主面、及び/又は第2の主面に予め劈開補助溝を形成することで、容易にウェハーをバー状に劈開することができる。また、窒化物半導体基板101の第2の主面(裏面)に形成した電極の剥がれ防止効果がある。

【0096】

ここで劈開により形成された共振面に反射ミラーを形成することもできる。反射ミラーは、 $\text{SiO}_2$  や  $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  等から成る誘電体多層膜である。反射ミラーは、共振面の光反射側、及び/又は光出射面に形成することができる。反射ミラーを、光反射側と光出射面の両方に形成することが好ましい。劈開によって形成された共振面であれば、反射ミラーを再現性よく形成することができる。

【0097】

(11)チップ分割

更にバー状となった窒化物半導体基板を、電極のストライプ方向に垂直な方向に分割して、窒化物半導体レーザ素子をチップ化する。半導体レーザ素子としてチップ化した後の形状は矩形状であって、矩形状の共振面の幅は $500\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $400\mu\text{m}$ 以下とする。

【0098】

以上より、得られる半導体レーザ素子は、FFPのリップルが抑制されており、かつ、長寿命等の特性を有する。また、対向電極構造の半導体レーザ素子であって、接触抵抗率は $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 以下とすることも可能である。また本発明は、窒化物半導体基板の上に複数の導波路領域を有する半導体レーザ素子や、ワイドリッジ部を有する半導体レーザ素子にも適用できる。

【0099】

実施の形態2.

本実施の形態では、ウェハーをバー状に分割して共振面を形成する際に、ウェハーの劈開を容易にする形態について説明する。本実施の形態の半導体レーザは、以下に説明する点を除いて、実施の形態1の半導体レーザと同様である。

【0100】

図8Aは、実施の形態2に係る半導体レーザ素子を示す斜視図であり、図8Bは、図8Aの凹部110を拡大した部分拡大斜視図である。図8A及び図8Bに示すように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、凹部110の配列が共振面20と重なっており、共振面20に形成された切欠部となっている点に特徴がある。これによって、共振面20と重なった凹部110が共振面20の劈開を補助する劈開補助溝としても機能することになり、劈開時に劈開方向が曲がるといった不具合の発生を抑制できる。

【0101】

本実施の形態においても、凹部110の平面形状と配列は種々の形態をとり得る。図9A~Dは、本実施の形態における凹部110のバリエーションを示す平面図である。いずれの実施形態でも、凹部110は、少なくとも一部が出射端面20と重なる(或いは、接する又は交叉する)構成となっている。複数の凹部110が全て出射端面20と重なる必要はなく、一部の凹部110が出射端面20と重なっていれば良い。

【0102】

図9Aに示す例では、図4Aと同様に凹部110が形成されている。すなわち、リッジ部10に垂直な方向に凹部110が等間隔に配置されており、その凹部110の配列がリッジ部10に平行な方向に3列繰り返されている。そして、第1列の凹部110aに対して第2列の凹部110bは半ピッチずれて配置されており、第2列の凹部110bに対して第3列の凹部110cも半ピッチずれて配置されている。しかしながら、図9Aの例で

10

20

30

40

50

は、図4Aと異なり、第1列の凹部110aが出射端面20と重なり、半円状となっている。これによって半円柱状の切欠が出射端面20に形成され、劈開が容易となる。すなわち、第1列の凹部110aは、漏光を散乱・屈折することによってリップル防止機能を発揮すると同時に、劈開補助溝として機能する。

#### 【0103】

図9Bに示す例では、図5Aの例と同様に、平面形状がライン状の複数の凹部110が出射端面に斜めに形成され、リッジ部10に垂直な方向に等間隔に配列されている。そして、各凹部110は、1つおきに前後にずれて配置されており、リッジ部10側から奇数番目の凹部110は出射端面20に重なっている。これによって奇数番目の凹部110が劈開補助溝として機能する。

10

#### 【0104】

図9Cに示す例では、平面形状がライン状の複数の凹部110aが出射端面に斜めに形成され、リッジ部10に垂直な方向に等間隔に配列されている。そして、平面形状が三角形の凹部110bが、ライン状の凹部110a同士の間隔に1つずつ挿入されている。三角形の凹部110bは、出射端面に平行な構成辺を有しており、その構成辺が出射端面に接している。三角形の凹部110bは、劈開補助溝として機能する。すなわち、三角形の凹部110bを出射端面に接するように形成することによって三角柱状の切欠が出射端面に形成され、劈開が容易になる。

#### 【0105】

図9Dに示す例では、図6Bと同様に、平面形状がM字型の凹部110aが形成され、さらにM字の各辺を両側から挟むように三角形の凹部110bが複数形成されている。三角形の凹部110bは、出射端面20に平行な構成辺を持つ。そして三角形の凹部110bの一部は、出射端面20に平行な構成辺が出射端面20に接している。これが劈開補助溝として機能する。

20

#### 【0106】

尚、凹部110と別に、劈開補助溝120を形成しても良い。例えば、図10Aに示すように、W字型の凹部110とは別に、略矩形の劈開補助溝120を出射端面20に沿って形成しても良い。劈開補助溝120は、導波路部分の結晶にダメージを与えないよう、導波路から0.1μm以上離して形成することが好ましい。さらに好ましくは、0.5μm以上離して形成したものである。図10Bは、図10Aの劈開補助溝120を鋸刃状にした例を示す。劈開補助溝120をこのような形状にすることによって、劈開補助溝が出射端面に傾斜した構成辺を有するようになる。従って、劈開補助溝120は、漏光を散乱・屈折する機能も果たすようになる。すなわち、図10Bに示す劈開補助溝120は、同時に本件発明における凹部110でもあることになる。さらに、図10Cに示すように、劈開補助溝120を円弧が繰り返されたフリルのような形状にしても良い。この場合も、劈開補助溝120が漏光を散乱・屈折できるため、凹部110としても機能する。

30

#### 【0107】

本実施の形態において、劈開補助溝120は凹部110と同じエッチング工程で同時に形成することが好ましい。さらに、凹部110と劈開補助溝120の形成を、n側窒化物半導体層の露出面200aを露出させるエッチングと同時に行うことが好ましい。これによってエッチングのためのマスク合わせの回数が減り、歩留まりが向上すると共に、レーザの特性も安定する。

40

#### 【0108】

実施の形態3.

本実施形態では、図11に示すように、基板101の第1の主面上にp電極230とn電極232が両方形成されている。すなわち、基板101の第1の主面上に、第1導電型の半導体層200と、活性層205と、第1導電型とは異なる導電型をした第2導電型の半導体層210が積層されている。第2導電型の半導体層210と、活性層205と、第1導電型の半導体層200の一部とがエッチングされ、第1導電型の半導体層200が露出している。そして、その露出した第1導電型の半導体層200にn電極232が形成さ

50

れている。その他の点は実施の形態 1 と同様である。本実施形態の構成であれば、基板は GaN や SiC 等の導電性基板に限定されず、サファイア等の絶縁性基板を用いることもできる。本実施形態に限らず、本発明の半導体レーザ素子は、第 1 導電型の半導体層には n 型半導体層を含んでおり、第 2 導電型の半導体層には p 型半導体層を含んでいる構成とすることができる。

#### 【0109】

本実施の形態において、n 電極 232 の形成面を露出するためのエッチング時に、凹部 110 を同時に形成することが好ましい。また、実施の形態 2 のように劈開補助溝を形成する場合には、それも同時に行うことが好ましい。それによって、エッチングのためのマスク合わせの回数が減り、歩留まりが向上すると共に、レーザの特性も安定する。

10

#### 【0110】

実施の形態 4 .

本実施形態では、図 12 に示すように、半導体層の p パッド電極 250 をヒートシンクへの実装面とする。その他の構成は実施形態 1 と同様とする。p パッド電極 250 の上に、ワイヤーではなく、外部電極等と接続させるためのメタライズ層（バンプ）を形成したフェイスダウン構造とする。ここで、p パッド電極 250 をメタライズ層と併用してもよい。メタライズ層（図示されていない）としては、Ag、Au、Sn、In、Bi、Cu、Zn 等の材料から成る単層又は多層を用いることができる。窒化物半導体基板を用いることでフェイスダウン構造の窒化物半導体素子を再現性よく提供することができる。また本実施形態の構成であれば、放熱性がよく信頼性が向上する。

20

#### 【0111】

実施形態 5 .

本実施の形態では、p 側コンタクト 209 上にも p 電極 230 を形成したものがあ。その他の構成は実施形態 1 と同様とする。絶縁層 220 と p 電極 230 は密着性が悪い。この構造であれば、絶縁層 220 と p 電極 230 は接合していないため、絶縁層 220 と p 電極 230 との界面で p 電極 230 が剥がれることがなくなる。

#### 【0112】

実施の形態 6 .

本実施の形態では、凹部 110 に加えて、イオン注入領域 130 を形成した例について説明する。イオン注入領域 130 は、導波路からの漏光を吸収し、さらにリップルを抑制する役割を果たす。

30

#### 【0113】

図 13 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子を示す斜視図である。以下に説明する点を除いては、実施の形態 1 の半導体レーザ素子と同様である。リッジ部 10 の側面から離間して、p 型窒化物半導体層 210 の表面に出射端面 20 側からイオン注入領域 130 と凹部 110 とが順に形成されている。イオン注入領域 130 と凹部 110 は複数であってもよい。好ましくは、リッジ部 10 の両側にイオン注入領域 130 と凹部 110 を形成する。

#### 【0114】

イオン注入領域 130 と凹部 110 とを有することにより、これらが相乗的に作用して FFP 形状が良好となり、光学特性の良好な半導体レーザ素子となる。イオン注入領域 130 は、導波路から漏れた迷光を吸収する効果を有する。本実施の形態において、イオン注入領域 130 は、リッジ部 10 を形成した後、露出している p 型窒化物半導体層 210 の表面にイオンを注入することによって形成される。

40

#### 【0115】

イオン注入領域 130 は、例えば、次のようにして形成できる。まず、イオン注入領域とする領域以外を Si 酸化膜、Si 窒化膜、又はレジストなどでマスクし、その後、マスク開口部にイオン化させたイオン源を 10 ~ 300 keV、好ましくは 20 ~ 30 keV のエネルギーに加速して打ち込む。イオン注入領域の表面からの深さは、イオンを打ち込む際の加速電圧と注入時間を調整することで制御できる。イオン注入領域 130 の表面が

50

らの深さは、例えば20オングストローム～2 $\mu\text{m}$ であって、好ましくは活性層に到達するものとする。さらに言えば、イオン注入領域130はn側光ガイド層まで、より好ましくはn側クラッド層まで到達していることが望ましい。これによって、導波路から漏れた迷光を一層効率良く吸収できる。尚、イオン打込みによってイオン注入領域を形成した場合はp側半導体層210の表面ごく近傍にはイオンが殆ど存在しないが、導波路から漏れた迷光が吸収できれば良いため、特に問題ない。

#### 【0116】

また、イオン注入領域130を作製する他の方法として、イオン注入領域130にイオン源を蒸着させた後に熱を加えて拡散させる方法がある。熱処理の温度を300～1000、好ましくは500～700とすることが望ましい。また熱処理の時間は、例えば1分～2時間とすることが好ましい。

10

#### 【0117】

一方、凹部110は、イオン注入領域130よりも出射端面20から離れた位置に形成されている。凹部110は、ストライプ状のリッジ部の両側に少なくとも2以上あることが好ましい。また凹部110の深さは20オングストローム～3 $\mu\text{m}$ であって、n型窒化物半導体層200まで達していることが好ましい。これは、光の導波領域がn型窒化物半導体層200まで達しているからである。

#### 【0118】

凹部110の形成方法や好ましい形状は実施の形態1と同様である。すなわち、凹部110は、マスクを用いたエッチングによって形成できる。このときのエッチング方法にドライエッチングを選択することで、凹部の側面を垂直面であったり傾斜面とすることもできる。また凹部の平面形状は、矩形、円形、三角形、六角形又は平行四辺形等にパターン化することができる。

20

#### 【0119】

本実施の形態に係る半導体レーザー素子の製造方法について説明する。

まず、リッジ部10を形成するまでは実施の形態1と同様である。リッジ部10を形成した後、p型窒化物半導体層210の表面にイオン注入領域130と凹部110とを形成する。まず、イオン注入領域130を形成する。フォトリソグラフィ技術を用いてイオン注入領域に開口部をもったレジストパターンを形成する。次に、イオン注入装置を用いてレジストパターンの開口部にイオン注入を行う。加速電圧を30keV以上とすることが好ましい。またドーズ量を $5 \times 10^{15}$ 以上 $5 \times 10^{20}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{16}$ 以上 $1 \times 10^{20}$  atoms/cm<sup>2</sup>以下の条件で行うことが望ましい。イオン注入領域130はリッジ部10から離間した位置に形成する。リッジ部からイオン注入領域130の端までの距離が少なくとも0.5 $\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。その後、剥離液で前記レジストパターンを除去する。

30

#### 【0120】

次に、p型半導体層210の表面に凹部110を形成する。出射端面20近傍でリッジ部10から離間した位置にフォトリソグラフィ技術を用いて開口部を有するレジストパターンを形成する。ここで、レジストパターンは凹部の平面形状を形成するものであって、円状、三角形状、六角形状等が配列しているものである。レジストパターンは窒化物半導体層をエッチングすることができるだけの膜厚があればよい。凹部の深さを決めるエッチングの深さはn側クラッド層203に到達していることが好ましい。凹部110はリッジ部10のストライプ方向には少なくとも1 $\mu\text{m}$ 以上の幅を有することが好ましい。またリッジ部10の両側にある凹部110の幅はイオン注入領域130と同程度であれば良い。凹部110の深さは20オングストローム～3 $\mu\text{m}$ 、好ましくは0.1 $\mu\text{m}$ ～2 $\mu\text{m}$ であることが望ましい。その後、剥離液でレジストパターンを除去する。

40

#### 【0121】

また、図14に示すようにイオン注入領域130を広範囲で形成した後、イオン注入領域130の内部に凹部110を形成することで、共振面の出射端面側から順に第1のイオン注入領域130a、凹部110、第2のイオン注入領域130bを形成することができ

50

る。その後は、実施の形態 1 と同様にして半導体レーザ素子を製造できる。

【0122】

実施の形態 7 .

本実施の形態における半導体レーザ素子は、実施の形態 3 と同様に、基板 101 の第 1 の主面上に p 電極 230 と n 電極 232 が両方形成されている。その他の点は実施の形態 6 と同様である。

【0123】

実施の形態 8 .

本実施の形態における半導体レーザ素子は、実施の形態 6 に示した半導体レーザ素子において、凹部 110 の内側に光吸収層 111 を形成している。その他の点は、実施の形態 6 と同様である。光吸収層 111 は、実施の形態 1 で説明したものと同様である。

10

【0124】

実施の形態 9 .

本実施の形態では、実施の形態 4 と同様に半導体層の p 電極側をヒートシンクへの実装面とする。その他の構成は実施の形態 6 と同様とする。

【0125】

以上実施の形態 1 から 9 のいずれにおいても、MOVPE (有機金属気相成長法)、HVPE (ハライド気相成長法)、MBE (分子線気相成長法) 等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。

【0126】

20

また、上記実施形態 1 ~ 9 では、また、ストライプ状のリッジ部 10 を形成した半導体レーザ素子について説明した。しかし、本件発明は、リッジ部 10 に代えて、電流狭窄層によって導波路を形成した半導体レーザ素子にも適用できる。ここで電流狭窄層とは、導波路となる領域に選択的に電流を流す機能を有する層である。例えば、AlN から成る電流狭窄層を用いることができる。電流狭窄層は活性層と p 側コンタクト層との間にあればよく、好ましくは p ガイド層に形成されている。電流狭窄層同士の間隔は  $0.5 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$  であることが好ましい。電流狭窄層の膜厚は  $100 \sim 1 \mu\text{m}$  であることが好ましい。

【0127】

以下に本発明の半導体レーザ素子の実施例を示す。しかし本発明はこれに限定されない

30

【実施例 1】

【0128】

MOCVD 反応装置内において、サファイア又は GaAs 基板を配置して、温度を  $500$  にする。次に、トリメチルガリウム (TMG)、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) を用い、GaN よりなるバッファ層を  $200$  オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層を成長した後、温度を  $1050$  にして、同じく GaN よりなる下地層を  $4 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【0129】

下地層を成長した後、ウェハを反応容器から取り出し、この下地層の表面に、ストライプ状のフォトリソマスクを形成し、CVD 装置によりストライプ幅  $10 \sim 300 \mu\text{m}$ 、ストライプ間隔 (窓部)  $5 \sim 300 \mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  よりなる保護膜を形成する。

40

【0130】

保護膜を形成した後、ウェハを HVPE (ハイドライド気相成長法) 装置に移送し、原料に Ga メタル、HCl ガス、及びアンモニアを用い、n 型不純物として酸素をドーピングしながら GaN よりなる窒化物半導体を  $400 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。このように HVPE 法で保護膜の上に窒化物半導体を成長させながら  $100 \mu\text{m}$  以上の GaN 厚膜を成長させると結晶欠陥は二桁以上少なくなる。ここで、異種基板等を研磨、研削、CMP 又はレーザ照射等により剥離した GaN を窒化物半導体基板とする。ここで、GaN の膜厚は  $400 \mu\text{m}$  程度である。また該 GaN 基板 101 は少なくとも導波路形成領域下においては転位密度が  $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$  以下である。

50

## 【0131】

(n側クラッド層203)

続いて、1050 でTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる層を膜厚 $2 \mu\text{m}$ で成長させる。なお、このn側クラッド層は超格子構造とすることもできる。

## 【0132】

(n側光ガイド層204)

続いて、シランガスを止め、1050 でアンドープ $\text{GaN}$ よりなるn側光ガイド層を $0.175 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層にn型不純物をドープしても良い。

10

## 【0133】

(活性層205)

次に、温度を800 にして、Siドープ $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ よりなる障壁層を140 の膜厚で成長させ、続いて同一温度で、アンドープ $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ よりなる井戸層を70 の膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを2回交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚560 の多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。

## 【0134】

(p側キャップ層206)

次に、温度を1050 に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、p側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなるp側キャップ層を100 の膜厚で成長させる。該p側キャップ層は省略可能である。

20

## 【0135】

(p側光ガイド層207)

続いて $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 、TMAを止め、1050 で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層10よりも小さい、アンドープ $\text{GaN}$ よりなるp側光ガイド層を $0.14 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

## 【0136】

(p側クラッド層208)

続いて、1050 でアンドープ $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ よりなる層を25 の膜厚で成長させ、続いて $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 、TMAを止め、アンドープ $\text{GaN}$ よりなる層を25 の膜厚で成長させ、総膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層を成長させる。

30

## 【0137】

(p側コンタクト層209)

最後に、1050 で、p側クラッド層の上に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{GaN}$ よりなるp側コンタクト層を150 の膜厚で成長させる。

## 【0138】

以上のようにして窒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側コンタクト層の表面に $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッチング)を用い、 $\text{SiCl}_4$ ガスによりエッチングする。以上よりn側クラッド層を露出させ、出射端面に平行な方向における幅が $400 \mu\text{m}$ のストライプ状の構造を形成する。この部分がレーザ素子の共振器本体となる。

40

## 【0139】

次にp側コンタクト層の表面にストライプ状の $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッチング)を用いて $\text{SiCl}_4$ ガスによりエッチングする。以上によりストライプ状の導波路領域であるリッジ部を形成する。次に前記リッジ部の側面を $\text{ZrO}_2$ から成る絶縁層220で保護する。

## 【0140】

50

( 凹部 1 1 0 の形成 )

次に導波路領域のリッジ部の端面近傍で該リッジ部から離間した位置にフォトリソグラフィ技術を用いて複数の六角形状の開口部を有するレジストパターンを形成し、RIE ( 反応性イオンエッチング ) を用いて  $\text{SiCl}_4$  ガスにより  $n$  側クラッド層 2 0 3 に達するまでエッチングする。以上より  $p$  側コンタクト層の表面に六角形状の凹部 1 1 0 を形成することができる。凹部 1 1 0 の配列は、図 4 A と同様にした。すなわち、凹部 1 1 0 は直径が  $2 \mu\text{m}$ 、深さが  $1.5 \mu\text{m}$  であって、リッジ部 1 0 の左右それぞれに、出射端面側から第 1 列目に 6 個、第 2 列目に 5 個、第 3 列目に 6 個の合計 1 7 個が形成されている。すなわちリッジ部の左右に 1 7 個ずつ、合計 3 4 個形成する。第 1 列目の凹部 1 1 0 a は、リッジ部を挟んで対称な位置にある最短の凹部同士の中心間距離は  $8 \mu\text{m}$  である。リッジ部 1 0 から最も近い凹部 1 1 0 a の中心までの距離は  $2.3 \mu\text{m}$  である。また、隣接する凹部 1 1 0 a 同士の中心間距離は  $4 \mu\text{m}$  である。第 2 列目の凹部 1 1 0 b は、第 1 列目の凹部 1 1 0 a をリア側へ  $2 \mu\text{m}$ 、レーザの側面方向へ  $2 \mu\text{m}$  動かした位置に形成する。但し、第 2 列目の凹部 1 1 0 b の数は片側 5 個とする。リッジ部を挟んで対称な位置にある最短の凹部同士の中心間距離は  $12 \mu\text{m}$  である。このときリッジ部 1 0 から最も近い凹部 1 1 0 b の中心までの距離は  $4.3 \mu\text{m}$  である。また、凹部 1 1 0 b 同士の間隔は第 1 列目と同じである。第 3 列目の凹部 1 1 0 c は、第 1 列目の凹部 1 1 0 a をリア側に  $4 \mu\text{m}$  移動した位置に形成する。第 3 列目の凹部 1 1 0 c の数は第 1 列目の凹部 1 1 0 a と同じ 6 個にする。また、リッジ部を挟んで対称な位置にある最短の凹部同士の中心間距離や、凹部 1 1 0 c 同士の間隔も第 1 列目の凹部 1 1 0 a と同じである。

【 0 1 4 1 】

次に、 $p$  側コンタクト層 2 0 9 及び絶縁層 2 2 0 の上の表面に  $\text{Ni} ( 1 0 0 ) / \text{Au} ( 1 5 0 0 )$  よりなる  $p$  電極 2 3 0 を形成する。 $p$  電極を形成した後、 $\text{Si}$  酸化膜 ( $\text{SiO}_2$ ) からなる保護膜 2 4 0 を  $p$  電極の上及び埋込膜 2 2 0 の上及び半導体層 2 0 0 の側面に  $0.5 \mu\text{m}$  の膜厚で、スパッタリング成膜により形成する。 $p$  電極 2 3 0 を形成した後に 6 0 0 でオーミックアニールを行う。

【 0 1 4 2 】

次に、保護膜で覆われていない露出している  $p$  電極 2 3 0 上に連続して、 $\text{Ni} ( 1 0 0 ) / \text{Ti} ( 1 0 0 0 ) / \text{Au} ( 8 0 0 0 )$  で形成し、 $p$  パッド電極 2 5 0 を形成する。

【 0 1 4 3 】

その後、窒化物半導体基板の第 2 の主面には  $\text{V} ( 1 0 0 ) / \text{Pt} ( 2 0 0 0 ) / \text{Au} ( 3 0 0 0 )$  よりなる  $n$  電極 2 3 2 を形成する。

【 0 1 4 4 】

$n$  電極と  $p$  電極及び  $p$  パッド電極とを形成したウェハー状の窒化物半導体基板の第 1 の主面側に凹部溝をけがきによって形成する。該凹部溝は深さを  $10 \mu\text{m}$  とする。また共振面と平行方向に側面から  $50 \mu\text{m}$ 、垂直方向に  $15 \mu\text{m}$  の幅とする。次に、前記凹部溝を劈開補助線として窒化物半導体基板の  $n$  電極の形成面側からバー状に劈開し、劈開面 ( $1 - 1 0 0$  面、六角柱状の結晶の側面に相当する面 =  $M$  面) を共振面とする。

【 0 1 4 5 】

次に共振器面に  $\text{SiO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  よりなる誘電体多層膜を形成し、最後に  $p$  電極に平行な方向で、バーをチップ化することで半導体レーザ素子とする。誘電体多層膜は共振器面の光出射側端面と光反射側端面とで材料を異にする場合がある。例えば、光出射側端面を  $\text{Al}_2\text{O}_3$  とし、光反射側端面を  $\text{SiO}_2$  と  $\text{ZrO}_2$  よりなる誘電体多層膜としてもよい。その他には、光出射側端面を  $\text{Al}_2\text{O}_3$  とし、光反射側端面は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を介した  $\text{SiO}_2$  と  $\text{ZrO}_2$  よりなる誘電体多層膜としてもよい。これによって、COD レベルを向上させることができる。なお共振器長は  $300 \sim 1000 \mu\text{m}$  とする。ここで窒化物半導体レーザ素子の共振面側の左右の角には凹部溝を有する。該凹部溝は深さを  $10 \mu\text{m}$  であって、共振面と平行方向に  $30 \mu\text{m}$ 、垂直方向に  $10 \mu\text{m}$  の幅である。

【 0 1 4 6 】

このようにして形成した半導体レーザ素子のX方向におけるFFPを図15に示す。図15に示すように、リップルの抑制された良好なFFPが得られることがわかる。

【実施例2】

【0147】

本実施例では、図6Cに示すような形状の凹部110を形成する。その他の点は実施例1と同様である。具体的には、実施例1の第1列目の凹部110aと第2列目の凹部110bをリア側へ2 $\mu$ m移動させる。そして、各円の直径が凹部の幅(2 $\mu$ m)となるように第1列目の円と第2列目の円を交互につないでM字型が連続したパターンにする。凹部全体の導波路方向の長さは4 $\mu$ mであり、導波路と垂直方向の幅は22 $\mu$ mである。

【0148】

このようにして形成した半導体レーザ素子のX方向におけるFFPを図16に示す。図16に示すように、実施例1よりも、さらにリップルの抑制された良好なFFPが得られることがわかる。

【実施例3】

【0149】

実施例2において、凹部110を1 $\mu$ mリア側に移動した上で、導波路方向の長さが1 $\mu$ mの劈開補助溝を、リッジ部10からの距離が5 $\mu$ mのところからレーザ素子の側面まで形成する。劈開補助溝の深さは1.5 $\mu$ mとする。尚、凹部110の形成と同じエッチングによって同時に行う。

【0150】

本実施例においても、実施例2と同様にリップルの抑制された良好なFFPが得られる。また、劈開補助溝が形成されているため、ウエハーをバー状に分割する際に、劈開方向が曲がる不良は殆ど発生しない。

【0151】

[比較例1]

凹部110を形成しなかった他は実施例1と同様にして半導体レーザ素子を作成する。この半導体レーザ素子のX方向におけるFFPを図17に示す。FFPに多数のリップルが観察される。

【実施例4】

【0152】

凹部を下記の方法で形成した他は、実施例1と同様にして半導体レーザ素子を作成した。すなわち、凹部は直径が2 $\mu$ m、深さが0.5 $\mu$ mであって、リッジ部の左右に5個ずつ、合計10個形成する。5個の凹部の配置は共振面側から3個、2個と形成する。

【0153】

このレーザ素子をヒートシンクに設置し、p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、発振波長400~420nm、閾値電流密度2.9kA/cm<sup>2</sup>において室温で良好な連続発振を示す。更に、共振面を劈開により形成しても、劈開傷がなく、光出力がCW80mW、動作温度が70 $^{\circ}$ Cの状態では寿命が1万時間と、特に寿命特性の良いレーザ素子を再現性良く製造することができる(図18)。

【実施例5】

【0154】

実施例4において、窒化物半導体基板101を作製する際にHVPE装置において原料にシランガスを加え、ケイ素(Si)又は酸素(O)を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる窒化物半導体基板を500 $\mu$ mの膜厚で成長させる。なおSi濃度は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲とすることが望ましい。窒化物半導体基板の成長後、実施例1と同様にしてサファイア基板、バッファ層等をレーザ照射又は研磨により除去し、窒化物半導体基板101とする。その他は同様の条件で窒化物半導体レーザ素子を形成することで効率良く実施例3と同等の特性を有するレーザ素子が得られる。

【実施例6】

【0155】

10

20

30

40

50

実施例 4 において、窒化物半導体基板 101 上に中間層を介して、n 側クラッド層を成長させる。その他は実施例 1 と同様の条件で半導体レーザ素子を形成する。

【0156】

前記中間層は、アンモニアと TMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、窒化物半導体基板 1 の上に、1050 で Si を  $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした GaN よりなり、膜厚を  $4 \mu\text{m}$  で成長させる。

【実施例 7】

【0157】

実施例 4 において、窒化物半導体基板 101 上に中間層及びクラック防止層を介して、n 側クラッド層 203 を成長させる。その他は実施例 3 と同様の条件で半導体レーザ素子を形成する。

10

【0158】

クラック防止層は、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  $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$  よりなり、 $0.15 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【実施例 8】

【0159】

実施例 4 において、n 側クラッド層を超格子構造とする。その他は実施例 3 と同様の条件で半導体レーザ素子を形成する。本実施例における n 側クラッド層は、1050 で TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアを用い、アンドープ  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  よりなる層を 25 の膜厚で成長させ、続いて TMA を止めて、シランガスを流し、Si を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした n 型 GaN よりなる層を 25 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  $2 \mu\text{m}$  とするものである。

20

【実施例 9】

【0160】

本実施例では、図 13 に示す構造の半導体レーザ素子を作成する。尚、層構成は図 2 に示すものとほぼ同様であるが、リッジ部の深さは異なる。

(GaN 基板 101)

2 インチ、膜厚  $400 \mu\text{m}$  であって、C 面を主面とする GaN よりなる基板 101 を MOVPE 反応容器内にセットする。この GaN 基板 101 は、結晶欠陥が  $10^5$  個 /  $\text{cm}^2$  以下である。

30

【0161】

(n 側クラッド層 203)

続いて、1050 で TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアを用い、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、Si を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした n 型 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 203 を成長させる。

【0162】

(n 側光ガイド層 204)

続いて、シランガスを止め、1050 でアンドープ GaN よりなる n 側光ガイド層 204 を  $0.1 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。この n 側光ガイド層に n 型不純物をドープしても良い。

40

【0163】

(活性層 205)

次に、温度を 800 にして、Si ドープ  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  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、続いて同一温度で、アンドープ  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる井戸層を 75 オングストロームの膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを 2 回交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚 450 オングストロームの多重量子井戸構造 (MQW) の活性層 205 を成長させる。

50

## 【 0 1 6 4 】

( p 側電子閉じ込め層 2 0 6 )

次に、温度を 1 0 5 0 に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $Cp_2Mg$ （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、p側光ガイド層 2 0 7 よりもバンドギャップエネルギーが大きい、 $Mg$ を $1 \times 10^{20} / cm^3$ ドープしたp型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ よりなるp側電子閉じ込め層 2 0 6 を 1 0 0 オングストロームの膜厚で成長させる。

## 【 0 1 6 5 】

( p 側光ガイド層 2 0 7 )

続いて $Cp_2Mg$ 、TMAを止め、1 0 5 0 で、バンドギャップエネルギーがp型キャップ層 2 0 6 よりも小さい、アンドープ $GaN$ よりなるp型光ガイド層 2 0 7 を 0 . 1  $\mu m$ の膜厚で成長させる。

10

## 【 0 1 6 6 】

( p 側クラッド層 2 0 8 )

続いて、1 0 5 0 でアンドープ $Al_{0.16}Ga_{0.84}N$ よりなる層を 2 5 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて $Cp_2Mg$ 、TMAを止め、アンドープ $GaN$ よりなる層を 2 5 オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚 0 . 6  $\mu m$ の超格子層よりなるp型クラッド層 2 0 8 を成長させる。

## 【 0 1 6 7 】

( p 側コンタクト層 2 0 9 )

最後に、1 0 5 0 で、p型クラッド層 2 0 8 の上に、 $Mg$ を $1 \times 10^{20} / cm^3$ ドープしたp型 $GaN$ よりなるp型コンタクト層 2 0 9 を 1 5 0 オングストロームの膜厚で成長させる。

20

## 【 0 1 6 8 】

以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層 2 0 9 の表面に $SiO_2$ よりなる保護膜を形成して、RIE（反応性イオンエッチング）を用い $SiCl_4$ ガスによりエッチングし、n側クラッド層 2 0 3 の表面を露出させる。

## 【 0 1 6 9 】

次に、最上層のp側コンタクト層 2 0 9 のほぼ全面に、PVD装置により、 $Si$ 酸化物（主として、 $SiO_2$ ）よりなる第1の保護膜を 0 . 5  $\mu m$ の膜厚で形成した後、前記第1の保護膜をエッチングして、p側コンタクト層の上にストライプ幅 2  $\mu m$ の第1の保護膜が形成できる。さらに、再度RIEにより $SiCl_4$ ガスを用いて、p側コンタクト層、およびp側クラッド層をエッチングして、ストライプ状のリッジ部 1 0 を形成する。前記リッジ部幅は 1 . 6  $\mu m$ である。

30

## 【 0 1 7 0 】

( イオン注入領域 1 3 0 )

ストライプ状のリッジ部 1 0 を形成した後に、該リッジ部 1 0 にレジストパターンを形成する。次に、基板 1 0 1 をイオン注入装置内にセットする。リッジ部 1 0 以外の露出しているp側ガイド層 2 0 7 に $Al$ イオン注入を行う。加速電圧を 3 0 k e V、ドーズ量を $1 \times 10^{16} atoms / cm^2$ とする。 $Al$ イオンの注入領域 1 3 0 はリッジ部の両側に形成する。 $Al$ イオンの注入領域 1 3 0 は、リッジ部から左右に 2  $\mu m$ 離間した位置から幅 5  $\mu m$ 、リッジ部のストライプ方向に 1 0  $\mu m$ の面積で形成する。その後、剥離液で前記レジストパターンを除去する。

40

## 【 0 1 7 1 】

( 凹部 1 1 0 )

次にリッジ部 1 0 及びp側ガイド層 2 0 6 にフォトリソグラフィ技術を用いてレジストパターンを形成する。このレジストパターンには開口部を形成しており、イオン注入領域の後部を、RIE（反応性イオンエッチング）を用いて $SiCl_4$ ガスによりエッチングをする。凹部 1 1 0 のエッチング深さは 0 . 8  $\mu m$ であって、凹部の底面はn側クラッド層 2 0 3 に達する。凹部 1 1 0 はリッジ部の左右両側に幅 5  $\mu m$ 、リッジ部のストライ

50

ブ方向に2 μmで形成される。その後、剥離液で前記レジストパターンを除去する。

【0172】

次に、リッジ部の両側にZrO<sub>2</sub>より成る絶縁層220を形成する。p側コンタクト層209及び絶縁層220の上の表面にNi(100)/Au(1500)よりなるp電極230を形成する。p電極を形成した後、Si酸化膜(SiO<sub>2</sub>)からなる保護膜240をp電極の上及び絶縁膜220の上及び窒化物半導体層200の側面に0.5 μmの膜厚で、スパッタリング成膜により形成する。p電極230を形成した後に600でオーミックアニールを行う。

【0173】

次に、保護膜で覆われていない露出しているp電極230上に連続して、Ni(100) / Ti(1000) / Au(8000)で形成し、pパッド電極250を形成する。

10

【0174】

その後、窒化物半導体基板の第2の主面にはV(100) / Pt(2000) / Au(3000)よりなるn電極232を形成する。

【0175】

n電極232とp電極230及びpパッド電極250とを形成したウェハー状の窒化物半導体基板の第1の主面側に凹部溝をけがきによって形成する。該凹部溝は深さを10 μmとする。また共振面と平行方向に側面から50 μm、垂直方向に15 μmの幅とする。次に、前記凹部溝を劈開補助線として窒化物半導体基板のn電極の形成面側からバー状に劈開し、劈開面((1-100)面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)を共振面とする。

20

【0176】

次に共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーをチップ化することで半導体レーザ素子とする。なお共振器長は300~1000 μmとする。

【0177】

このレーザ素子をヒートシンクに設置し、p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、発振波長400~420 nm、閾値電流密度2.9 kA/cm<sup>2</sup>において室温で良好な連続発振を示す。光出力がCW80 mW、動作温度が70の状態では寿命が1万時間と、寿命特性の良いレーザ素子である。このレーザ素子のX方向のFFPを図19に示す。主レーザ光のFFPにリップルの乗らない良好なガウシアン形状となる単一モードのレーザ素子となる。

30

【実施例10】

【0178】

実施例9において、凹部120をAlイオン注入領域の内部に形成することで出射端面側から第1のAlイオン注入領域、凹部、第2のAlイオン注入領域を形成する他は同様にしてレーザ素子を作製する。これによって、迷光の吸収効率は大幅に向上する。

【産業上の利用可能性】

【0179】

本発明の半導体レーザ素子は、全てのデバイス、例えば、光ディスク、光通信システム、又は印刷機、測定器等に利用することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0180】

【図1】実施の形態1に係る半導体レーザ素子の模式的斜視図である。

【図2】実施の形態1に係る半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図3A】凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。

【図3B】凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。

【図3C】凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。

【図3D】凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。

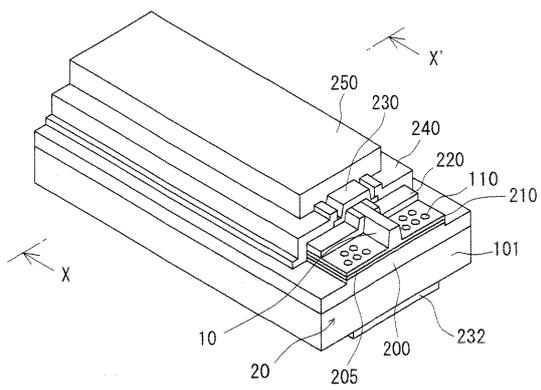
50

- 【図 4 A】円形の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 4 B】円形の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 4 C】円形の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 4 D】円形の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 5 A】ライン状の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 5 B】ライン状の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 5 C】ライン状の凹部の配列例を示す模式平面図である。
- 【図 6 A】屈曲したライン状の凹部の例を示す模式平面図である。
- 【図 6 B】屈曲したライン状の凹部の例を示す模式平面図である。
- 【図 6 C】屈曲したライン状の凹部の例を示す模式平面図である。 10
- 【図 7 A】凹部の断面形状の一例を示す模式的断面図である。
- 【図 7 B】凹部の断面形状の一例を示す模式的断面図である。
- 【図 7 C】凹部の断面形状の一例を示す模式的断面図である。
- 【図 8 A】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子の模式的斜視図である。
- 【図 8 B】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子の凹部付近の部分拡大斜視図である。
- 【図 9 A】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。
- 【図 9 B】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。
- 【図 9 C】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。 20
- 【図 9 D】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部の平面形状の例を示す模式平面図である。
- 【図 10 A】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部と劈開補助溝の平面形状の例を示す模式平面図である。
- 【図 10 B】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部と劈開補助溝の平面形状の例を示す模式平面図である。
- 【図 10 C】実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子における凹部と劈開補助溝の平面形状の例を示す模式平面図である。
- 【図 11】実施の形態 3 に係る半導体レーザ素子を示す模式的斜視図である。 30
- 【図 12】実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子を示す模式的断面図である。
- 【図 13】実施の形態 6 に係る半導体レーザ素子を示す模式的斜視図である。
- 【図 14】実施の形態 6 に係る半導体レーザ素子の變形例を示す模式的斜視図である。
- 【図 15】実施例 1 の X 方向の F F P を示すグラフである。
- 【図 16】実施例 2 の X 方向の F F P を示すグラフである。
- 【図 17】比較例 1 の X 方向の F F P を示すグラフである。
- 【図 18】実施例 4 の半導体レーザ素子の寿命試験の測定結果である。
- 【図 19】実施例 9 の X 方向の F F P を示すグラフである。
- 【符号の説明】
- 【 0 1 8 1 】 40
- 1 0 1 . . . 基板
- 1 1 0 . . . 凹部
- 1 1 1 . . . 光吸収層
- 1 2 0 . . . 劈開補助溝
- 1 3 0 . . . イオン注入領域
- 2 0 0 . . . 第 1 導電型の半導体層
- 2 0 5 . . . 活性層
- 2 1 0 . . . 第 2 導電型の半導体層
- 2 3 2 . . . n 電極
- 2 2 0 . . . 絶縁膜 50

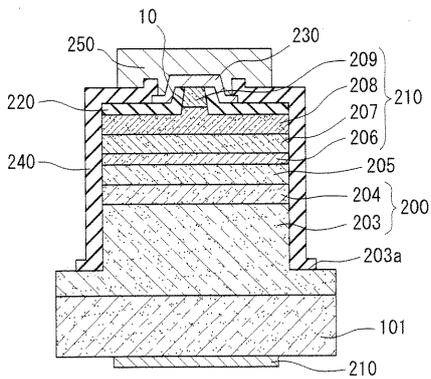
230・・・p電極

250・・・pパッド電極

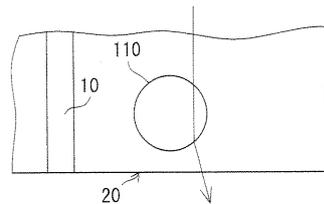
【図1】



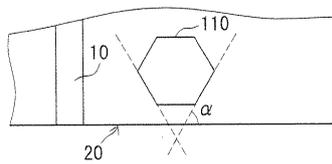
【図2】



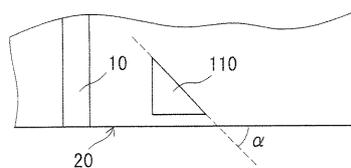
【図3A】



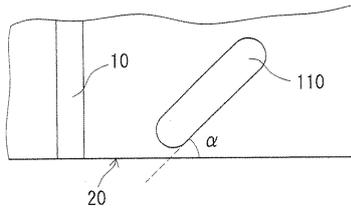
【図3B】



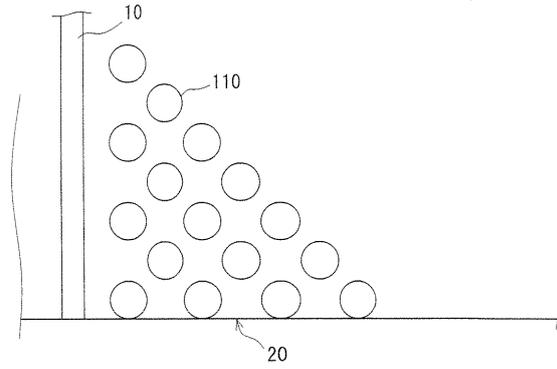
【図3C】



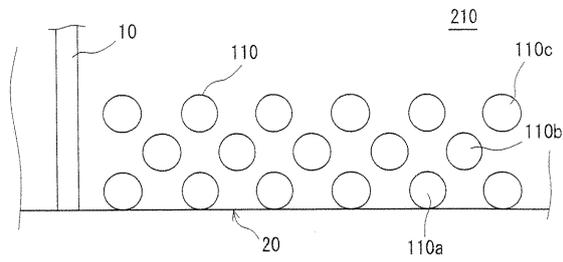
【 3 D】



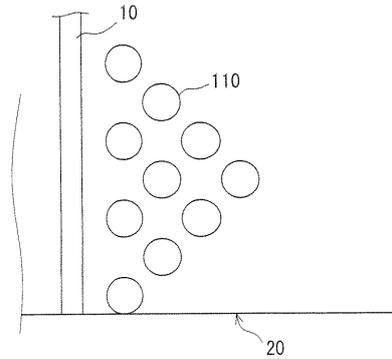
【 4 C】



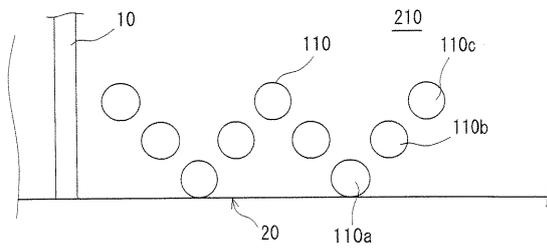
【 4 A】



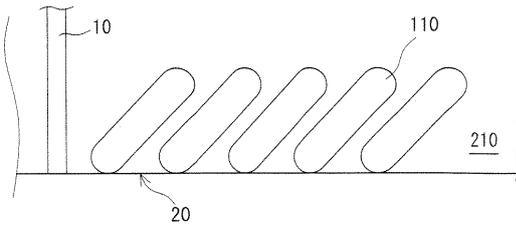
【 4 D】



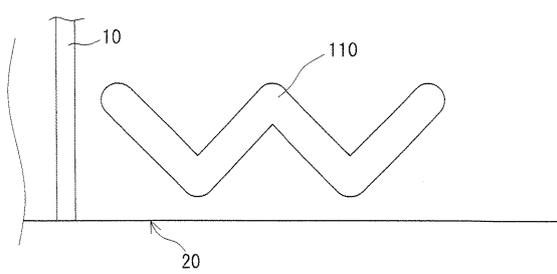
【 4 B】



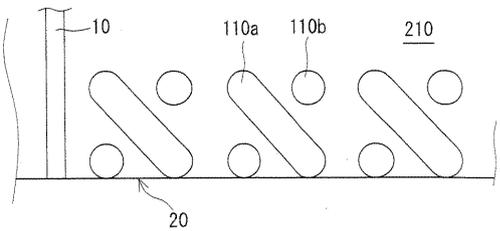
【 5 A】



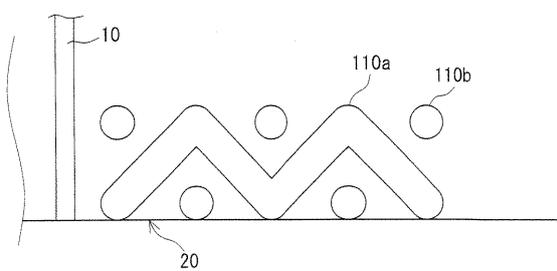
【 6 A】



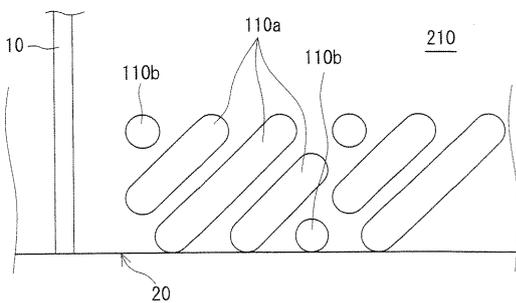
【 5 B】



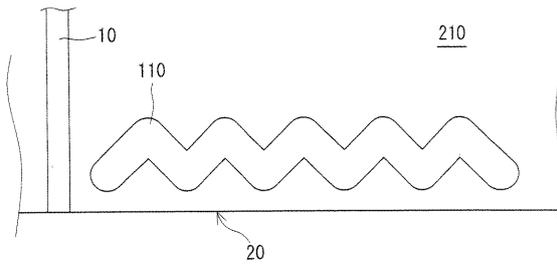
【 6 B】



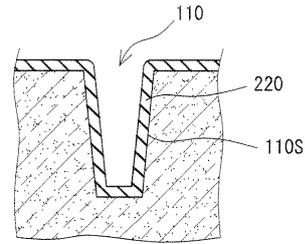
【 5 C】



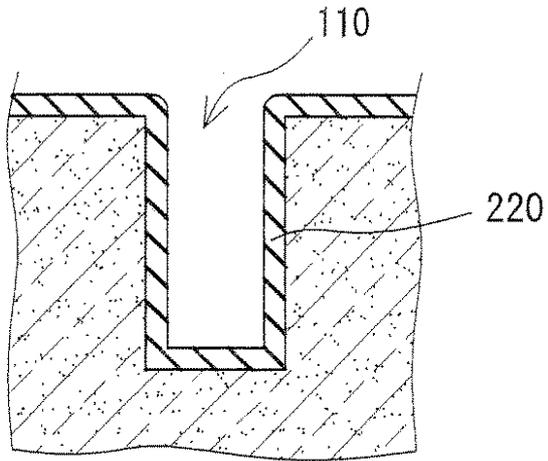
【図 6 C】



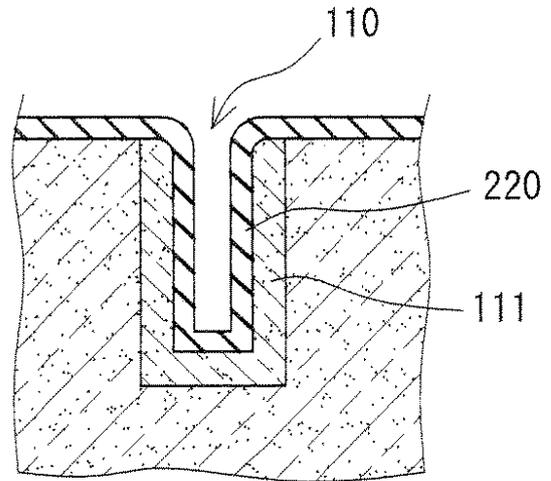
【図 7 B】



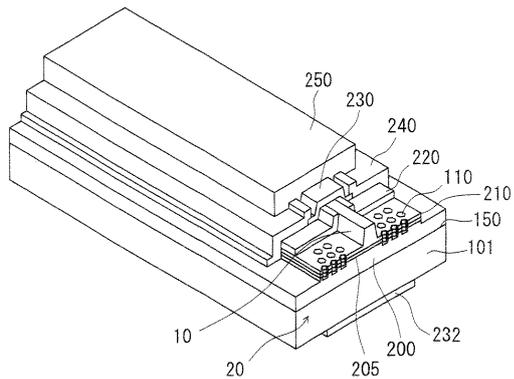
【図 7 A】



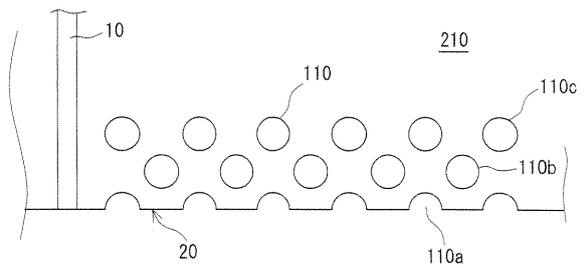
【図 7 C】



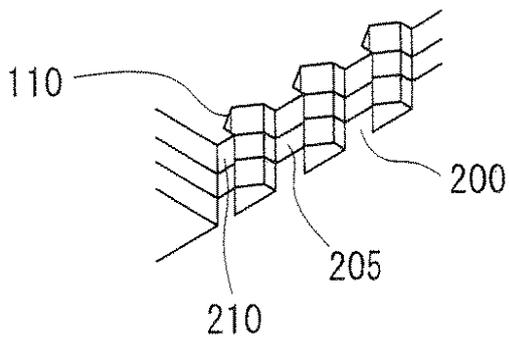
【図 8 A】



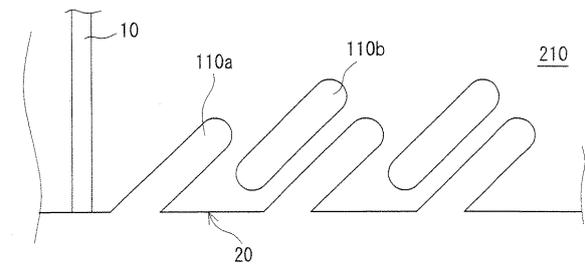
【図 9 A】



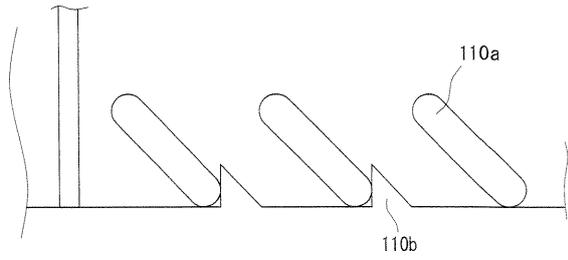
【図 8 B】



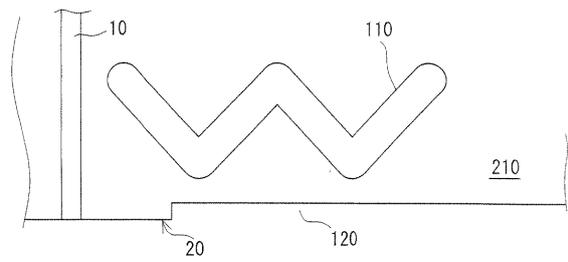
【図 9 B】



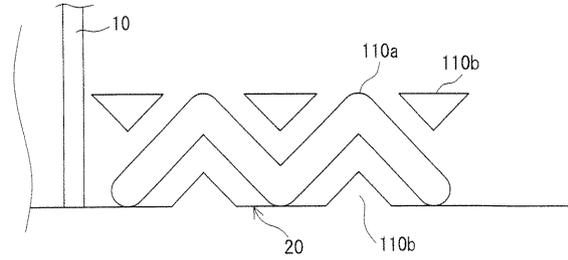
【図9C】



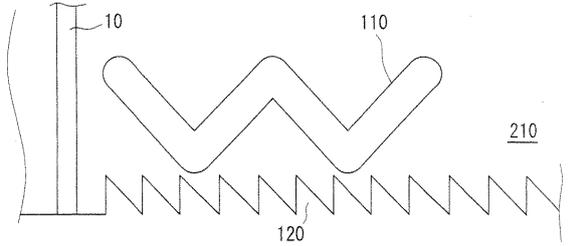
【図10A】



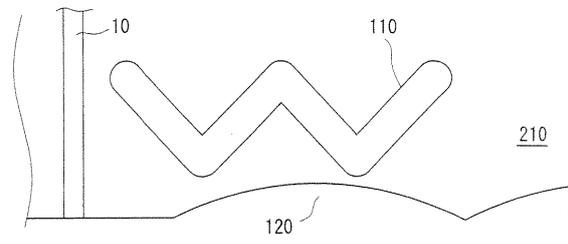
【図9D】



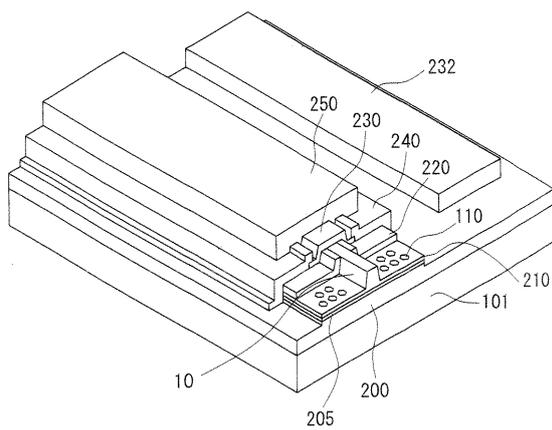
【図10B】



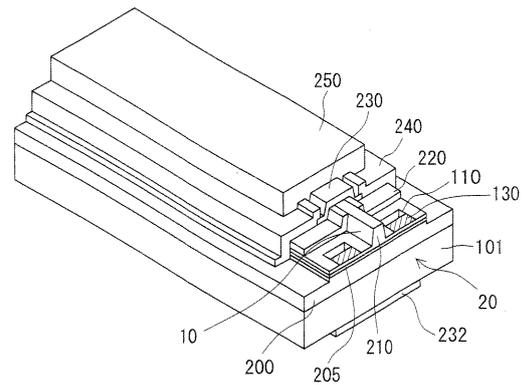
【図10C】



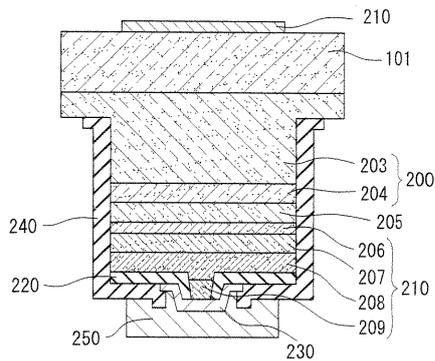
【図11】



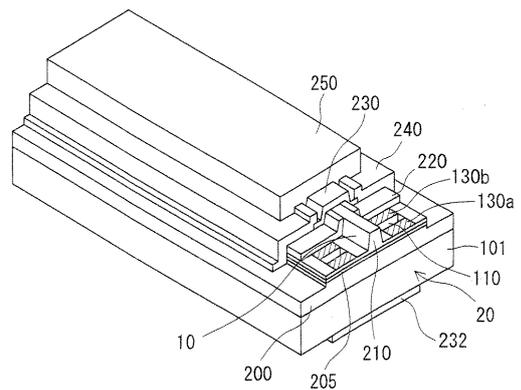
【図13】



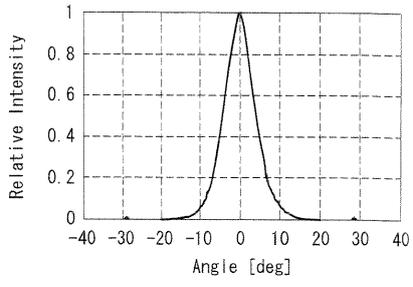
【図12】



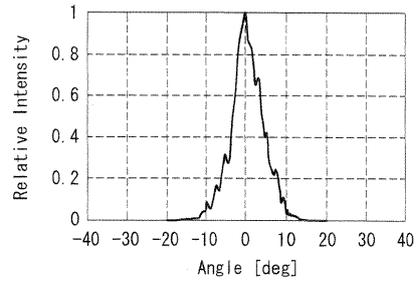
【図14】



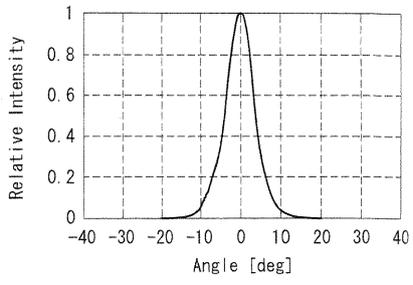
【 1 5】



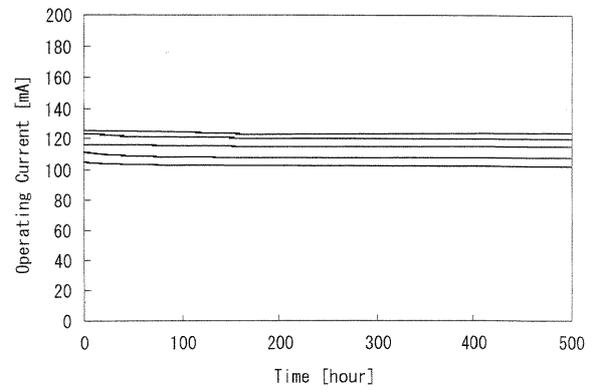
【 1 7】



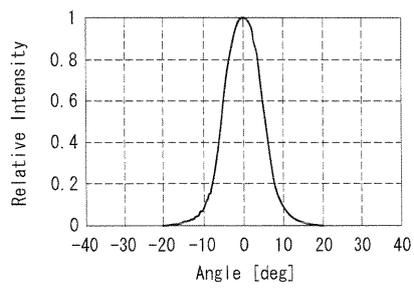
【 1 6】



【 1 8】



【 1 9】



## フロントページの続き

- (72)発明者 松村 拓明  
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
- (72)発明者 小谷 靖長  
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 道祖土 新吾

- (56)参考文献 特開平04-082289(JP,A)  
米国特許第04282494(US,A)  
特開2000-174385(JP,A)  
国際公開第02/101894(WO,A1)  
特開2002-324947(JP,A)  
特開2004-023010(JP,A)  
特開昭62-014488(JP,A)  
特開昭62-226623(JP,A)  
特開昭61-150392(JP,A)  
特開平02-199889(JP,A)  
特開2000-196199(JP,A)  
特開2002-270967(JP,A)  
特開2001-189519(JP,A)  
特開平03-293790(JP,A)

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