

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3925066号
(P3925066)

(45) 発行日 平成19年6月6日(2007.6.6)

(24) 登録日 平成19年3月9日(2007.3.9)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 S 5/343 (2006.01)

H O 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 1 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2000-297665 (P2000-297665)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成12年9月28日(2000.9.28)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2002-111133 (P2002-111133A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成14年4月12日(2002.4.12)	(74) 代理人	100104949
審査請求日	平成15年9月30日(2003.9.30)		弁理士 豊栖 康司
		(74) 代理人	100074354
			弁理士 豊栖 康弘
		(72) 発明者	柳本 友弥
			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	居島 一仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

A1の平均組成を $0.02 \sim 0.04$ とするn側とp側クラッド層の間にpおよびn側光ガイド層と、InGaNを含む活性層が形成されており、

pおよびn側光ガイド層は、少なくともA1を含む窒化物半導体層を有しており、

かつpおよびn側光ガイド層中に含まれるA1の平均組成をクラッド層のそれよりも小さい値とし、その膜厚をそれぞれ $0.1 \mu\text{m} \sim 0.2 \mu\text{m}$ とし、

クラッド層で挟まれたコア部分の膜厚を200オングストローム以上、 $1.0 \mu\text{m}$ 以下とし、

レーザ素子のリッジストライプをp側光ガイド層の領域まで形成してなることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、窒化物半導体($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 < x$ 、 $0 < y$ 、 $x + y < 1$)よりなるレーザ素子に関し、特に自励発振を制御し、垂直方向のFFPと自励発振パワーとの両者を最適にするレーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体発光素子は、各分野での応用が期待されており、近年盛んに研究開発が進められ

20

ている。特に窒化物半導体系のレーザダイオード(LD)については、種々の研究開発が活発に行われ、実用可能なLDも開発されている。

【0003】

窒化物半導体レーザ素子は、活性層を光閉じ込め層(クラッド層)で挟んだ層構成を有する。活性層で自然発光した光がp側及びn側のクラッド層間で全反射しながら、活性層を有する導波層(光ガイド層)内で増幅され、この増幅された光を誘導放出光として活性層端面(共振面)から放出する。

【0004】

本発明者は、窒化物半導体基板上に活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製し、世界で初めて室温での連続発振1万時間以上を達成したことを発表した(ICNS'97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-446、及びJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36(1997) pp. L1568-1571, Part 2, No. 12A, 1 December 1997)。

10

【0005】

特性の良い半導体レーザを実現するには、活性層に効率よく電流を注入すると共に、光を活性層内に閉じ込める必要がある。例えば、InGaN系レーザダイオードの構造として、多重量子井戸構造のInGaN発光層に光ガイド層としてGaN、クラッド層としてAlGaIn/GaNの超格子構造を用いた分離閉じ込め型レーザを発表している(応用物理第68巻7号(1999)795頁)。この例では、垂直方向のFFPに周期的なリップルが観測されており、その理由としてAlGaIn/GaNクラッド層による光閉じ込めが不十分なため、一部のレーザビームがGaNコンタクト層にまで漏れることが挙げられている。この対策として、クラッド層のAl組成比を増やすか、厚さを増すかして光の閉じ込めを強くする必要性を挙げている。一般に半導体レーザはダブルヘテロ構造によりキャリア閉じ込め効果を得て効率的に反転分布を得ると共に、放射された光をガイド層の中に閉じ込め、誘導放出を生じさせて光の閉じ込めを得る。これを実現するため活性層物質の光の屈折率はクラッド層物質の屈折率よりも高く設計される。

20

【0006】

また半導体レーザは、閾値電流密度を引き下げる必要がある。このためにも光の閉じ込めを強化することが一般に行われている。例えば特開平11-238945号公報には、クラッド層の光閉じ込め効果を向上させることにより、窒化物半導体レーザ素子のレーザ光をシングルモード化すると共に、発振閾値を低下させたレーザ素子を得る方法が記載される。この方法は、n側クラッド層をAlを含む窒化物半導体層を有する超格子で構成し、そのn側クラッド層全体の厚さが0.5µm以上で、かつそのn側クラッド層に含まれるAl平均組成を百分率(%)で表した際に、n側クラッド層全体の厚さ(µm)とAl平均組成(%)との積が4.4以上となるように構成されている。また前記n側とp側のクラッド層との間にある活性層を含んだ窒化物半導体層の厚さを200オングストローム以上、1.0µm以下の範囲に調整することにより、コア部分に光を閉じ込めてレーザ光の垂直横モードをシングルモード化している。

30

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、光の閉じ込めを強化する構造とすると活性層の光密度が大きくなるため、自励発振が起こりやすくなる傾向を示す。自励発振とは、レーザに加える電流値を上昇させたとき、一定であるべき出力波形が振動しはじめる状態をいう。これを防止するには、光の密度を下げる方法が挙げられる。ただ、レーザ発振を実現するには、光の閉じ込めが必要になる。このように光の閉じ込めと自励発振の防止はトレードオフの関係にあり、光の閉じ込めが強固であれば自励発振が生じるという問題が生じていた。

40

【0008】

本発明は、このような問題点を解決するためのものである。本発明の重要な目的は、従来と逆の発想で光の閉じ込めを意図的に弱め光が漏れる構造とすることで、自励発振の発生を制御でき、かつ垂直方向のFFPを小さくすることのできる窒化物半導体レーザ素子を提供することにある。

50

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的を実現するために本発明の窒化物半導体レーザ素子は以下の構成を備える。

【0010】

本発明に記載される窒化物半導体レーザ素子は、A1の平均組成を0.02~0.04とするn側とp側クラッド層の間にpおよびn側光ガイド層と、InGaNを含む活性層が形成されており、pおよびn側光ガイド層は、少なくともA1を含む窒化物半導体層を有しており、かつpおよびn側光ガイド層中に含まれるA1の平均組成をクラッド層のA1平均組成よりも小さい値とし、その膜厚をそれぞれ0.1 μ m~0.2 μ mとし、クラッド層で挟まれたコア部分の膜厚を200オングストローム以上、1.0 μ m以下とし、レーザ素子のリッジストライプをp側光ガイド層の領域まで形成することを特徴とする。

10

【0011】

このように本発明は、光ガイド層にA1を混入させてA1の比率を上げることにより光の閉じ込めを弱めて、閾値電流密度が大きくしないで自励発振を防止することができる。

【0012】

クラッド層中に含まれるA1の比率を下げることにより光の閉じ込めを弱めて、閾値電流密度が大きくしないで自励発振を防止することができる。

【0013】

またn側クラッド層の全体の膜厚を1 μ m~2 μ mとすることにより漏れ光の影響のリップルを防止することができる。

20

【0014】

さらにまたpおよびn側クラッド層を構成する超格子がA1_xGa_{1-x}N/GaNの超格子とできる。

【0015】

本発明の窒化物半導体レーザ素子では、従来と逆の発想で光の閉じ込めを弱くし、光がしみ出すような状態として光の密度を下げることにより、自励発振を抑制するものである。これを実現するために本発明は、クラッド層および光ガイド層のそれぞれの屈折率を近づける構造としている。例えば、閾値電流密度が大きくなるに十分な程度にp、nクラッド層中のA1の混晶比を小さくし、あるいはp、n光ガイド層中のA1の混晶比を大きくする。この構造により、自励発振が生じる電流値を大きくすることができ、自励発振の発生を抑えることができる。

30

【0016】

さらに垂直方向のNFP幅が大きくなり、その結果、垂直方向のFFP幅を小さくできるというメリットもある。NFPとは、ニヤール・フィールド・パターン(Near Field Pattern)、近視野像と呼ばれるもので、垂直、水平の両横モードについて反射面上に現れるレーザ光の強度分布像をいう。一方FFPとは、ファー・フィールド・パターン(Far Field Pattern)、あるいは遠視野像とも呼ばれ、反射面から十分遠方に放射されたレーザ光の強度分布像をいう。NFPは発振領域内の光強度分布を表し、FFPは光の波面および位相も含めた光波の性質を表すといえる。FFPは放射光の広がりを示すものであるから、FFP幅が小さいと、FFP角度が収束して広がりが少なくなり、使用者はレーザの扱いが容易となる。このように本発明の窒化物半導体レーザ素子は、自励発振を抑えることに加えてFFPの小さい取り扱い容易なレーザとできるメリットもある。

40

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。ただし、以下に示す実施の形態は、本発明の技術思想を具体化するための窒化物半導体レーザ素子を例示するものであって、本発明は窒化物半導体レーザ素子を以下のものに特定しない。

【0018】

さらに、この明細書は、特許請求の範囲を理解し易いように、実施の形態に示される部材に対応する番号を、「特許請求の範囲の欄」、および「課題を解決するための手段の欄

50

」に示される部材に付記している。ただ、特許請求の範囲に示される部材を、実施の形態の部材に特定するものでは決してない。

【0019】

本明細書において説明するn型層の一般式 $Al_xGa_{1-x}N$ 、p型層の $Al_xGa_{1-x}N$ 等の組成比X値は単に一般式を示しているに過ぎず、n型層のXとp型層のXとが同一の値を示すものではない。また同様に他の一般式で使用するY値についても、同一の一般式が同一の値を示すものではない。

【0020】

本発明の窒化物半導体レーザ素子において、クラッド層とは、屈折率が活性層の井戸層よりも小さい窒化物半導体を含む光閉じ込め層である。また超格子とは、単一層の膜厚が100オングストローム以下で、互いに組成が異なる窒化物半導体層を積層した多層膜構造を指し、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは40オングストローム以下の膜厚の窒化物半導体層を積層する。具体的な構成としては、例えば $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < X < 1$)層と、その $Al_xGa_{1-x}N$ 層と組成が異なる他の窒化物半導体層とを積層した超格子とし、例えば $Al_xGa_{1-x}N/GaN$ 、 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < Y < 1$, $Y < X$)、 $Al_xGa_{1-x}N/In_zGa_{1-z}N$ ($0 < Z < 1$)等の3元混晶と3元混晶、若しくは3元混晶と2元混晶との組み合わせで超格子とすることができる。その中でも最も好ましくは $Al_xGa_{1-x}N$ と GaN とからなる超格子とする。

【0021】

また、活性層の発光を閉じ込めるためn側クラッド層を上記構成とするならば、p側クラッド層をn側クラッド層と同じ構成とすることも可能である。但し、p側クラッド層を請求項1のような構成とする場合、p側クラッド層の膜厚をn側クラッド層よりも薄くすることが望ましい。なぜなら、p側クラッド層の3族元素に対するAl平均組成を大きくするか、若しくは膜厚を厚くすると、 $AlGaIn$ 層の抵抗値が大きくなる傾向にあり、 $AlGaIn$ の抵抗値が大きくなると、閾値が高くなる傾向にあるからである。

【0022】

p側クラッド層をAlを含む窒化物半導体を有する超格子とする場合(但し、この場合、光の漏れは関係なく、単にキャリア閉じ込めとしてのクラッド層として作用させる場合を含む)、n側クラッド層全体の厚さがそのp側クラッド層全体の厚さよりも厚いことが望ましい。p側クラッド層を構成する窒化物半導体層も、n側クラッド層と同様に、例えば $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < X < 1$)層と、その $Al_xGa_{1-x}N$ 層と組成が異なる他の窒化物半導体層とを積層した超格子とし、 $Al_xGa_{1-x}N/GaN$ 、 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < Y < 1$, $Y < X$)、 $Al_xGa_{1-x}N/In_zGa_{1-z}N$ ($0 < Z < 1$)等の3元混晶と3元混晶、若しくは3元混晶と2元混晶との組み合わせで超格子とし、その中でも最も好ましくは $Al_xGa_{1-x}N$ と GaN とからなる超格子とする。

【0023】

本発明の超格子におけるAl平均組成は、以下のような算出方法で求めるものとする。例えば25オングストロームの $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ と、25オングストロームの GaN とを200ペア(1.0 μm)積層した超格子の場合、1ペアが50オングストローム、Alを含む層の3族元素に対するAl混晶比が0.5であるため、 $0.5 \cdot (25\mu m / 50\mu m) = 0.25$ となり、超格子全体の3族元素におけるAl平均組成は25%である。一方、膜厚が異なる場合、 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ を40オングストロームと、 GaN を20オングストロームとで積層した場合、膜厚の加重平均を行い、 $0.5(40/60) = 0.333$ となり、Al平均組成は33.3%とする。即ち、Alを含む単一窒化物半導体層の3族元素に対するAl混晶比を、その窒化物半導体層が超格子1ペアの膜厚に占める割合に乗じたものを本発明における超格子のAl平均組成とする。またAlを両方含む場合も同様であり、例えば $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 20オングストローム、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 30オングストロームの場合も、 $0.1(20/50) + 0.2(30/50) = 0.16$ 、即ち16%をAl平均組成とする。なお以上の例は $AlGaIn/GaN$ 、 $AlGaIn/AlGaIn$ について説明したが、 $AlGaIn/InGaIn$ についても同じ算出方法を適用する

10

20

30

40

50

ものとする。従って、 n 側クラッド層を成長させる場合には、以上の算出方法に基づいて成長方法を設計できる。また、 n 側クラッド層のAl平均組成は、SIMS（二次イオン質量分析装置）、オージェ等の分析装置を用いても検出できる。

【0024】

【実施例】

図1は本発明の一実施例に係るレーザ素子の要部を示す模式的な断面図であり、リッジストライプに垂直な方向で切断した際の断面を示している。以下、必要に応じてこの図を参照しながら実施例について説明する。

【0025】

[実施例1]

以下、実施例1として作成したレーザ素子を順に説明する。

(下地層)

2インチ、C面を主面とするサファイアよりなる異種基板をMOVPE反応容器内にセットし、温度を500にして、トリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH₃)を用い、GaNよりなるバッファ層(図示せず)を200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、温度を1050にして、同じくGaNよりなる下地層を4μmの膜厚で成長させる。この下地層は保護膜を部分的に表面に形成して、次に窒化物半導体基板の選択成長を行うための下地層として作用する。下地層はAl混晶比X値が0.5以下のAl_xGa_{1-x}N(0 < X < 0.5)を成長させることが望ましい。0.5を超えると、結晶欠陥というよりも結晶自体にクラックが入りやすくなってしまいうため、結晶成長自体が困難になる傾向にある。また膜厚はバッファ層よりも厚い膜厚で成長させて、10μm以下の膜厚に調整することが望ましい。基板はサファイアその他、SiC、ZnO、スピネル、GaAs等、窒化物半導体を成長させるために知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる基板を用いることができる。

【0026】

(保護膜)

下地層成長後、ウェー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マスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅10μm、ストライプ間隔(窓部)2μmのSiO₂よりなる保護膜を1μmの膜厚で形成する。保護膜の形状としてはストライプ状、ドット状、碁盤目状等のような形状でも良いが、窓部よりも保護膜の面積を大きくする方が、結晶欠陥の少ない第2の窒化物半導体層が成長しやすい。保護膜の材料としては、例えば酸化ケイ素(SiO_x)、窒化ケイ素(Si_xN_y)、酸化チタン(TiO_x)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜の他、1200以上の融点を有する金属等を用いることができる。これらの保護膜材料は、窒化物半導体の成長温度600~1100の温度にも耐え、その表面に窒化物半導体が成長しないか、若しくは成長しにくい性質を有している。

【0027】

(窒化物半導体基板)

保護膜形成後、ウェーハを再度MOVPEの反応容器内にセットし、温度を1050にして、TMG、アンモニアを用い、アンドープGaNよりなる窒化物半導体基板を20μmの膜厚で成長させる。成長後の窒化物半導体基板の表面において、保護膜のストライプ中央部と、窓部のストライプ中央部に当たる部分には、結晶欠陥がほとんど表出していないが、成長初期においては、多くの結晶欠陥が窓部上部に発生する傾向にある。従って、後に続くレーザ素子のリッジ形成時に、リッジストライプがこの結晶欠陥に係らないようにすることにより、活性層に結晶欠陥が転位せず、素子の信頼性が向上する。窒化物半導体基板はハライド気相成長法(HVPE)を用いて成長させることができるが、このようにMOVPE法により成長させることもできる。窒化物半導体基板はIn、Alを含まないGaNを成長させることが最も好ましく、成長時のガスとしては、TMGの他、トリエチルガリウム(TEG)等の有機ガリウム化合物を用い、窒素源はアンモニア、若しくはヒドラジンを用いることが最も望ましい。また、このGaN基板にSi、Ge等のn型

10

20

30

40

50

不純物をドーピングしてキャリア濃度を適当な範囲に調整してもよい。特に異種基板、下地層、保護膜を除去する場合には、窒化物半導体基板がコンタクト層となるため、この窒化物半導体基板にn型不純物をドーピングすることが望ましい。

【0028】

(n側コンタクト層11)

次に、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、第2の窒化物半導体層の上にSiを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたGaNよりなるn側コンタクト層11を5 μm の膜厚で成長させる。また異種基板～保護膜を除去して、窒化物半導体基板に電極を設ける場合には省略することもできる。このn側コンタクト層11は高温で成長させるバッファ層であり、例えばサファイア、SiC、スピネルのように窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に、900以下の低温において、GaN、AlN等を、0.5 μm 以下の膜厚で直接成長させるバッファ層とは区別される。

10

【0029】

(クラック防止層12)

次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を800にして $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ よりなるクラック防止層12を0.15 μm の膜厚で成長させる。このクラック防止層は省略可能である。

【0030】

(n側クラッド層13=超格子層)

続いて、1050でTMA、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ よりなる第1の層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてシランガス、TMAを止め、アンドープのGaNよりなる第2の層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして第1層+第2層+第1層+第2層+・・・というように超格子層を構成し、総膜厚1.2 μm の超格子よりなるn側クラッド層13を成長させる。この超格子よりなるn側クラッド層は3族元素に対するAl平均組成が4.0%となる。なおn側クラッド層に、バンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体を積層した超格子を作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドーピングして、いわゆる変調ドーピングを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドーピングしても良い。

20

【0031】

(n側光ガイド層14)

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14を0.1 μm の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5 μm 、さらに好ましくは200オングストローム～1 μm の膜厚で成長させることが望ましい。

30

【0032】

(活性層15)

次に、TMG、TMI、アンモニアを用い活性層14を成長させる。活性層は温度を800に保持して、アンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を40オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、アンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。井戸層と障壁層とを順に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚440オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドーピングしてもよい。不純物は井戸層、障壁層両方にドーピングしても良く、いずれか一方にドーピングしてもよい。

40

【0033】

(p側キャップ層16)

次に、温度を1050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17よりもバンドギャップエネルギー

50

ーが大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるp側キャップ層16を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層16は $0.1 \mu\text{m}$ 以下の膜厚で形成することにより素子の出力が向上する傾向にある。膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0034】

(p側光ガイド層17)

続いて Cp_2Mg 、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16よりも小さい、アンドープ GaN よりなるp側光ガイド層17を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層14と同じく GaN 、 $\text{In}\text{Ga}\text{N}$ で成長させることが望ましい。

10

【0035】

(p側クラッド層18 = 超格子)

続いて、1050 でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ よりなる第3の層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAのみを止め、アンドープ GaN よりなる第4の層を25オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚 $0.6 \mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層18を成長させる。このp側クラッド層もAl平均組成が4.0%となる。なお、p側クラッド層も少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子で作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドープして、いわゆる変調ドープを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドープしても良い。

20

【0036】

ここで、クラッド層で挟まれたコア部分(導波部分)の膜厚について述べる。コア部分とは、n側光ガイド層14、活性層15、p側キャップ層16、及びp側光ガイド層17を合わせた領域、即ちn側クラッド層と、p側クラッド層との間にある活性層を含む窒化物半導体層を指し、活性層の発光を導波する領域である。窒化物半導体レーザ素子の場合、FFPが単一ビームとならないのは、先にも述べたように、クラッド層から漏れた発光がn側のコンタクト層内で導波してマルチモードになるからである。その他、コア内で共振することによってマルチモードになる場合がある。本発明ではまずn側のクラッド層の膜厚を厚くして、Al平均組成を大きくすることにより、屈折率差を設け、コア内の光をクラッド層で閉じ込めるものである。しかし、コア内でマルチモードができると、FFPは乱れる。そのため、本発明のn側クラッド層との関係において、コア内でマルチモードにならないようにするために、このコア部分の厚さも調整する方が望ましい。コア部分にマルチモードが発生しないようにするための好ましい厚さとしては、200オングストローム以上、 $1.0 \mu\text{m}$ 以下、さらに望ましくは500オングストローム $\sim 0.8 \mu\text{m}$ 、最も望ましくは $0.1 \mu\text{m} \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲に調整することが望ましい。200オングストロームよりも薄いと、コア部分から光が漏れだし、閾値が上昇する傾向にある。また $1.0 \mu\text{m}$ よりも厚いとマルチモードになりやすい傾向にある。

30

【0037】

(p側コンタクト層19)

最後に、1050 で、p側クラッド層18の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 GaN よりなるp側コンタクト層18を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層19はp型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x, 0 < y, x + y < 1$)で構成することができ、好ましくはMgをドープした GaN とすれば、p電極と最も好ましいオーミック接触が得られる。

40

【0038】

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内において、窒素雰囲気中700 でアニーリングを行い、p型不純物をドープした層をさらに低抵抗化させる。

【0039】

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、RIE装置により最上層のp側コ

50

ンタクト層 18 と、p 側クラッド層 17 とをエッチングして、図 1 に示すように 4 μm のストライプ幅を有するリッジ形状とする。リッジストライプを形成する場合、そのリッジストライプは、窒化物半導体基板の表面に結晶欠陥が現れていない位置に形成する。図 1 の場合結晶欠陥は、成長初期にストライプ状の窓部中央部に多く現れる傾向にある。このように結晶欠陥がほとんどない位置にストライプを形成すると、結晶欠陥が活性層まで伸びてこなくなる傾向にあるため、素子の長寿命とすることができ、信頼性が向上する。

【0040】

次にリッジ表面にマスクを形成し、RIEにてエッチングを行い、n 側コンタクト層 11 の表面を露出させる。露出させたこの n 側コンタクト層 11 は n 電極 23 を形成するためのコンタクト層としても作用する。

10

【0041】

次に p 側コンタクト層 19 のリッジ最表面に Ni と Au よりなる p 電極をストライプ状に形成し、一方、Ti と Al よりなる n 電極を先ほど露出させた n 側コンタクト層 11 の表面にストライプ状に形成した後、図 1 に示すように p 電極と、n 電極との間に露出した窒化物半導体層の表面に SiO_2 よりなる絶縁膜を形成し、この絶縁膜を介して p 電極と電氣的に接続した p パッド電極を形成する。

【0042】

以上のようにして、n 電極と p 電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して 70 μm とした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面に SiO_2 と 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、バーを切断してレーザ素子とする。

20

【0043】

このレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において連続発振を示し、単レーザ光の FFP は単一で、その形状も楕円形で形の良いものが得られていた。

【0044】

[実施例 2]

実施例 1 において、n 側クラッド層 13 を成長させる際に、Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 25 オングストロームと、アンドープ GaN 25 オングストロームとを積層し、総膜厚 1.0 μm の超格子よりなる n 側クラッド層 13 を成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製した。なお n 側クラッド層は Al 平均組成が 3% である。このレーザ素子も実施例 1 とほぼ同等の特性を有していた。

30

【0045】

[実施例 3]

実施例 1 において、n 側クラッド層 18 を成長させる際に、Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 層 25 オングストロームと、アンドープ GaN 層 25 オングストロームとを、総膜厚 1.4 μm で成長させる他は同様にして、レーザ素子を作製した。n 側クラッド層は、Al 平均組成が 3.5% である。このレーザ素子は閾値の低下と寿命の向上が確認できる特性を示した。

【0046】

また本発明は、光ガイド層とクラッド層の屈折率の差を近づけることにより、光閉じこめ効果を弱めるものである。したがって、クラッド層中の Al 混晶比を下げる手法以外にも、例えばガイド層中に Al を混入して Al 混晶比を上げる手法によっても実現できる。この手法は、上述した実施例とほぼ同様の手順を用いて行うことができる。

40

【0047】

【発明の効果】

以上のように本発明は、従来と逆の発想で光の封じ込めを弱める構造とすることで、光の密度を低くし、自励発振を抑えることに成功した。すなわち従来であれば光の閉じ込めを目的としていたが、この方法では光の密度が高くなり自励発振が起こりやすい状態となっていた。本発明では逆に、Al の混晶比を調節して光の閉じ込めを意図的に弱め、光が

50

漏れる構造とすることで、自励発振の発生を制御でき、かつ垂直方向の F F P を小さくする特徴を実現した。

【 0 0 4 8 】

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、クラッド層と光ガイド層の屈折率の差を近づけることにより光の閉じ込め効果を抑える構造とした。光閉じ込め効果は、クラッド層、光ガイド層のそれぞれの屈折率 n_c と n_g の差によって変わってくる。例えば n の差が大きいほど閉じ込め効果が大きくなる。逆に n の差が小さいほど閉じ込め効果は小さくなり、光の密度も抑えることができる。ただ、あまり差を近づけるとレーザとして発振しなくなる。本発明は A 1 の混晶比を最適値とすることにより、レーザ発振を維持しかつ閾値電流密度が大きくなならない程度に A 1 の混晶比を小さくして、自励発振を抑制すると共に F F P を小さくした信頼性の高い半導体レーザとすることができる。

10

【 0 0 4 9 】

また、本発明は漏れ光の影響によるリップルを防止するために、 n 側クラッド層の厚みを $1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ としている。 p 電極と n 電極が同一面側に形成される場合、活性層で発光した光が n 型クラッド層から漏れだし、大きい屈折率を有する n 型コンタクト層内をこの漏れ光が導波して n 型コンタクト層の端面から放出される現象が生じる。詳しい原理は明らかでないが、共振面から放出される主レーザ光にこの弱い光が重なると、主レーザ光にリップルが乗り、F F P が小さなマルチモードとなってしまうと思われる。レーザ光を良好に機能させるためには、リップルが F F P に乗ることを抑制することが望ましい。

【 0 0 5 0 】

20

本発明の構造を利用すると、アスペクト比を小さくする効果があり、自励発振を生じる出力パワーを大きくすることも可能である。このため高出力の安定した L D を作成することが可能となり、D V D 書き込みに使用するレーザとして使用可能である。

【 図面の簡単な説明 】

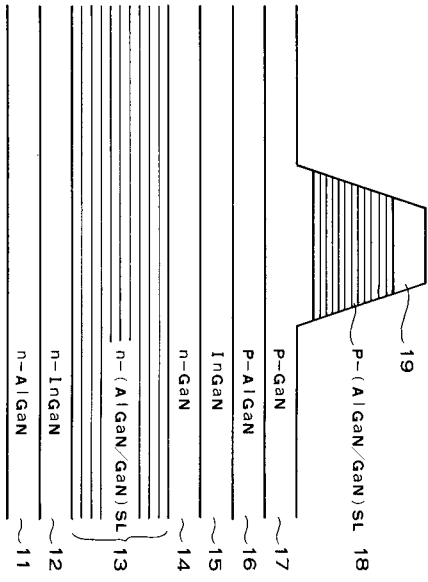
【 図 1 】 本発明の一実施例に係るレーザ素子の要部構造を示す斜視図

【 符号の説明 】

- 1 1 . . . n 側コンタクト層
- 1 2 . . . クラック防止層
- 1 3 . . . n 側クラッド層
- 1 4 . . . n 側光ガイド層
- 1 5 . . . 活性層
- 1 6 . . . p 側キャップ層
- 1 7 . . . p 側光ガイド層
- 1 8 . . . p 側クラッド層
- 1 9 . . . p 側コンタクト層

30

【 1 】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第00/052796(WO, A1)

特開平06-104525(JP, A)

特開平11-177175(JP, A)

特開2000-261106(JP, A)

Nakamura et al., Continuous-wave operation of InGaN/GaN/AlGaIn-based laser diodes grown on GaN substrates, Appl. Phys. Lett., 1998年, Vol.72, No.16, pp.2014-2016

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50

H01L 33/00

JSTPlus(JDream2)