

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3951973号  
(P3951973)

(45) 発行日 平成19年8月1日(2007.8.1)

(24) 登録日 平成19年5月11日(2007.5.11)

(51) Int. Cl.

**H01S 5/343 (2006.01)**

F I

H01S 5/343 610

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2003-184397 (P2003-184397)	(73) 特許権者	000226057 日亜化学工業株式会社 徳島県阿南市上中町岡491番地100
(22) 出願日	平成15年6月27日(2003.6.27)	(74) 代理人	100094145 弁理士 小野 由己男
(62) 分割の表示 原出願日	特願平10-129810の分割 平成10年5月13日(1998.5.13)	(74) 代理人	100117422 弁理士 堀川 かおり
(65) 公開番号	特開2004-104088 (P2004-104088A)	(72) 発明者	長濱 慎一 徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日 審査請求日	平成16年4月2日(2004.4.2) 平成17年5月11日(2005.5.11)	(72) 発明者	中村 修二 徳島県阿南市上中町岡491番地100
		審査官	吉野 三寛
		(56) 参考文献	特開平11-330614 (JP, A) 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

n型不純物を含む窒化物半導体層と、p型不純物を含む窒化物半導体層との間に、少なくともInを含む第1窒化物半導体からなる井戸層と少なくともInを含む第3窒化物半導体からなる障壁層とを有する活性層を備えた窒化物半導体素子において、

前記活性層が、InGa<sub>n</sub>Nからなる井戸層とInGa<sub>n</sub>N(井戸層のIn量よりも少ないIn量である)又はGa<sub>n</sub>Nからなる障壁層との間に該障壁層よりバンドギャップエネルギーが大きいAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0 < x < 1)からなる第2窒化物半導体層を備えることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】

前記n型不純物を含む窒化物半導体層又はp型不純物を含む窒化物半導体層の少なくとも一方に、前記井戸層のIn量よりも少ないIn量の窒化物半導体層を有する超格子層を備える請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】

前記超格子層は、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N(0 < y < 1)と、Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N(0 < a < 1)とからなる請求項2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】

前記活性層が、少なくとも障壁層、井戸層、第2窒化物半導体層、障壁層をこの順に積層した構造を有する請求項1~3のいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】

10

20

n型不純物を含む窒化物半導体層と、p型不純物を含む窒化物半導体層との間に、少なくともInを含む第1窒化物半導体からなる井戸層と少なくともInを含む第3窒化物半導体からなる障壁層とを有する活性層を備えた窒化物半導体素子の製造方法であって、

前記活性層を、InGa<sub>N</sub>からなる井戸層とInGa<sub>N</sub>(井戸層のIn量よりも少ないIn量である)又はGa<sub>N</sub>からなる障壁層との間に該障壁層よりバンドギャップエネルギーが大きいAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0 < x < 1)からなる第2窒化物半導体層を、前記井戸層と略同一の成長温度で成長させて形成することを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項6】

前記障壁層を、前記第2窒化物半導体層よりも高温で成長させる請求項5に記載の窒化物半導体素子の製造方法。 10

【請求項7】

前記活性層を、少なくとも障壁層、井戸層、第2窒化物半導体層、障壁層をこの順に積層した構造で形成する請求項5又は6に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8】

前記n型不純物を含む窒化物半導体層又はp型不純物を含む窒化物半導体層の少なくとも一方に、井戸層のIn量よりも少ないIn量のIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N(0 < y < 1)と、Al<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N(0 < a < 1)とを含む超格子層を形成する請求項5~7のいずれか1つに記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】 20

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、スーパーluminescentダイオード(SLD)等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる窒化物半導体(In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N、0 < x、0 < y、x+y < 1)素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

我々は窒化物半導体基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、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, Part2, No.12A, 1 December 1997)。基本的な構造としては、サファイア基板上に成長されたGa<sub>N</sub>層の上に、部分的に形成されたSiO<sub>2</sub>膜を介し、そのSiO<sub>2</sub>膜の上部に横方向に成長されたGa<sub>N</sub>よりなる窒化物半導体基板の上に、複数の窒化物半導体層が積層されてレーザ素子構造とされている(詳細はJpn.J.Appl.Phys.Vol.36参照)。このレーザ素子は閾値電流密度4 kA/cm<sup>2</sup>において、403.7 nmのシングルモードで発振する。なお閾値における電圧は4.6 Vである。 30

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

レーザ素子を、例えばDVDの光源として使用するには、ディスクのポリカーボネートの性質から410 nm前後が限界といわれている。また、短波長レーザ素子の用途は幅広く、緑色に近いレーザ素子も求められている。そのためには前記レーザ素子を長波にすることが必要である。 40

【0004】

また1万時間以上の連続発振が実現されたといっても、未だその出力は2 mWに過ぎず、書き込み光源とするには高出力状態において、5000時間以上の寿命が必要とされる。

【0005】

従って、本発明の目的とするところは、主として青色~緑色領域のレーザ素子を実現すると共に、レーザ素子の高出力化を実現することにある。また最も過酷な条件で使用されるレーザ素子の出力を向上させることができれば、他の緩やかな条件の下で使用されるLE 50

D、SLD等の他の発光デバイスの出力、受光デバイスの効率等も向上させることが可能となる。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明の窒化物半導体素子は、n型不純物を含む窒化物半導体層と、p型不純物を含む窒化物半導体層との間に、少なくともInを含む第1窒化物半導体からなる井戸層と少なくともInを含む第3窒化物半導体からなる障壁層とを有する活性層を備えた窒化物半導体素子において、活性層が、InGaNからなる井戸層とInGaN（井戸層のIn量よりも少ないIn量である）又はGaNからなる障壁層との間に障壁層よりバンドギャップエネルギーが大きい $Al_xGa_{1-x}N$ （ $0 < x < 1$ ）からなる第2窒化物半導体層を備える

10

また、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、n型不純物を含む窒化物半導体層と、p型不純物を含む窒化物半導体層との間に、少なくともInを含む第1窒化物半導体からなる井戸層と少なくともInを含む第3窒化物半導体からなる障壁層とを有する活性層を備えた窒化物半導体素子の製造方法であって、前記活性層を、InGaNからなる井戸層とInGaN（井戸層のIn量よりも少ないIn量である）又はGaNからなる障壁層との間に該障壁層よりバンドギャップエネルギーが大きい $Al_xGa_{1-x}N$ （ $0 < x < 1$ ）からなる第2窒化物半導体層を、前記井戸層と略同一の成長温度で成長させて形成することを特徴とする。

【0007】

本発明の窒化物半導体素子は、前記井戸層は $In_xGa_{1-x}N$ （ $0 < x < 1$ ）からなり、前記超格子層は $In_yGa_{1-y}N$ （ $0 < y < 1$ 、 $y < x$ ）と、 $Al_aGa_{1-a}N$ （ $0 < a < 1$ ）とからなることを特徴とする。井戸層の好ましいIn組成Xとしては $0.1 < X < 0.6$ 、好ましくは $0.15 < X < 0.5$ の範囲に調整する。井戸層の範囲をこの範囲に調整することにより、例えば430nm～560nm付近において、高効率に発光する素子を得ることができる。

20

また、前記超格子層は、n層側、及びp層側両方に形成されており、両方の超格子層が活性層と接して形成されていることを特徴とする。活性層に接して形成されている場合、活性層の接触面は井戸層でも、障壁層でも良い。

【0008】

さらに、前記n層側の超格子層には、n型不純物がドーブされており、そのn型不純物濃度が超格子層中において異なることを特徴とする。

30

n型不純物がドーブされる場合、超格子を構成する少なくとも2種類の半導体層において、一方の窒化物半導体がアンドープ若しくはもう一方の窒化物半導体層よりもn型不純物が少なくドーブされており、もう一方の窒化物半導体層にはn型不純物が多くドーブされていることを特徴とする。

【0009】

また、前記p層側の超格子層には、p型不純物がドーブされており、そのp型不純物濃度が超格子中において異なることを特徴とする。

p型不純物がドーブされる場合、超格子を構成する少なくとも2種類の半導体層において、一方の窒化物半導体がアンドープ若しくはp型不純物がもう一方の窒化物半導体よりも少なくドーブされており、もう一方の窒化物半導体層にはp型不純物が多くドーブされていることを特徴とする。

40

【0010】

上記窒化物半導体素子及びその製造方法においては、n型不純物を含む窒化物半導体層又はp型不純物を含む窒化物半導体層の少なくとも一方に、井戸層のIn量よりも少ないIn量の窒化物半導体層を有する超格子層を備えることが好ましく、この超格子層は、 $In_yGa_{1-y}N$ （ $0 < y < 1$ 、 $y < x$ ）と、 $Al_aGa_{1-a}N$ （ $0 < a < 1$ ）とからなることがより好ましい。

また、活性層が、少なくとも障壁層、井戸層、第2窒化物半導体層、障壁層をこの順に

50

積層した構造を有することが好ましい。

【0011】

さらに、窒化物半導体素子の製造方法では、障壁層を、第2窒化物半導体層よりも高温で成長させることが好ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】

窒化物半導体中にドーパされるn型不純物にはSi、Ge、Sn、S、Ti、Zr等が挙げられるが、その中でもSiが最も一般的に用いられる。またp型不純物にはMg、Zn、Be、Ca、Sr等が挙げられるがその中でもMgが最も一般的に用いられる。

【0013】

本発明の素子の活性層における井戸層のInの組成比は、全3族元素に対して10%以上とすることが望ましく、例えば井戸層が $In_xGa_{1-x}N$ であると、Xは0.1以上、0.6以下とすると、430~560nm付近において、高効率、高輝度な発光素子が得られる。Xは0.6より大きくしてもよいが、0.6よりも大きくすると井戸層の結晶性が悪くなるため、素子寿命が短くなる傾向にある。また井戸層を3元混晶の $InAlN$ 、4元混晶の $InAlGa$ Nで構成しても良い。

【0014】

超格子層とは、例えば膜厚100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下の互いに組成が異なる窒化物半導体層(バンドギャップエネルギーは同じでも良い。)を積層した多層膜層を指し、少なくとも一方は井戸層のIn組成よりも少ないIn組成を有する窒化物半導体層とする。この場合好ましい組成としては $In_yGa_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ 、 $y < x$ )とし、好ましくはYを井戸層と対応して0.6未満、さらに好ましくは0.5未満とする。また3元混晶の $InAlN$ 、4元混晶の $InAlGa$ Nとしても良い。超格子層を構成するもう一方の窒化物半導体は $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 < a < 1$ )とすることが望ましい。 $InGa$ N/ $AlGa$ N若しくは $InGa$ N/ $GaN$ の超格子とすると、長波長において高出力、高効率の素子が得られる。

【0015】

超格子層はn層側、p層側いずれか一方に形成しても良いが、両方に形成することが望ましい。超格子層がn層側、及びp層側両方に形成されている場合、例えば、分離閉じ込め型ダブルヘテロ構造の素子を作製すると、超格子層から活性層と離れた側にあるクラッド層に必ずしも $AlGa$ Nを形成しなくても良い。 $AlGa$ N、 $AlIn$ N等のAlを含む窒化物半導体は一般に結晶成長が難しく、また抵抗率も高い傾向にある。このため、クラッド層を $GaN$ とすることができると、Vfが低く、結晶成長しやすい素子を作製することができる。但し、本発明では必ずしもクラッド層を $GaN$ にする必要もなく、Alを含む窒化物半導体で構成しても良い。例えばAlの組成比が小さい(全3族元素の40%以下)窒化物半導体は成長しやすい。

【0016】

n層側の超格子層にn型不純物をドーパする場合、超格子層中においてn型不純物濃度を異ならせるようにすることが望ましい。好ましい態様としては活性層に接近するに従って、平均的にn型不純物濃度を小さくすると、素子の出力が向上する傾向にある。また超格子層を構成する2種類の窒化物半導体に変調ドーパを行うことが望ましい。変調ドーパとは一方の窒化物半導体層と、もう一方の窒化物半導体層とでn型不純物濃度を異ならせることであり、例えば一方をアンドープ(意図的に不純物をドーパしない状態)若しくはn型不純物を少なくドーパし、もう一方をn型不純物を多くドーパする。n型不純物濃度としては少ない方が $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。一方、多い方は $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、好ましくは $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、最も好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に調整する。上限は $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下にする方が結晶性良く成長できる。不純物濃度の差は1桁以上あることが望ましい。

10

20

30

40

50

## 【0017】

一方p層側の超格子層にp型不純物をドーピングする場合、超格子層中においてp型不純物濃度を異ならせるようにすることが望ましい。好ましい態様としては活性層に接近するに従ってp型不純物濃度を小さくすると、素子の出力が向上する傾向にある。また超格子層を構成する2種類の窒化物半導体に変調ドーピングを行うことが望ましい。例えば一方をアンドープ（意図的に不純物をドーピングしない状態）若しくはp型不純物を少なくドーピングし、もう一方をp型不純物を多くドーピングする。p型不純物濃度としては少ない方が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。一方、多い方は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上、最も好ましくは $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以上に調整する。上限は $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 以下にする方が結晶性 10  
良く成長できる。不純物濃度の差は1桁以上あることが望ましい。

【0018】本発明のようにInを含む窒化物半導体、好ましくはInGaInを含む超格子層をn層側、p層側に挿入すると次のような利点がある。例えばレーザ素子を例にとって説明すると、従来、多重量子井戸構造の活性層を挟む構造は、n-AlGaInとGaIn超格子（クラッド層）/n-GaIn（ガイド層）/活性層/p-GaIn（ガイド層）/p-AlGaInとGaIn超格子（クラッド層）からなる構造を有していた。長波長（青～緑色）のレーザを作製しようとする、井戸層のIn組成を大きくしなければならない。井戸層のIn組成を大きくすると、従来の構造ではクラッド層がAlGaInであるので十分すぎる程のバンドオフセットがある。本発明ではクラッド層をGaInとすることもできるので、GaInとしても十分に活性層とのバンドオフセットがとれる。クラッド層をGaIn 20  
とするとAlGaInに比較して膜中にクラックが入りにくくなるため、結晶性が向上し、素子の信頼性が良くなる。

## 【0019】

さらにガイド層について、クラッド層と活性層との中間の屈折率を有する材料を選択すると例えばInGaInが選択できるが、InGaInをガイド層として作用させるには例えば500オングストローム以上の膜厚が必要となる。しかしある一定量のIn組成比を有するInGaInを単層で500オングストローム以上成長させることは難しく、InGaIn成長途中でInの組成分離が起こり結晶性が悪くなる傾向にある。InGaInは厚さが薄いほど組成分離の影響が小さく、例えば結晶性の良いInGaInの臨界膜厚は100オングストローム以下にすることが望ましい。そのため本発明ではガイド層を膜厚の薄いIn 30  
GaInを有する超格子構造としているため、膜質の良いガイド層が成長できる。しかもInGaIn/GaIn、InGaIn/AlGaIn等の超格子構造とすると、屈折率が活性層とクラッド層との中間にあるガイド層が容易に成長できる。ガイド層の結晶性が良くなると、その上に成長させる活性層、クラッド層の結晶性が良くなり、特に420nm以上のレーザ素子を作製するのに非常にふさわしい。またクラッド層をGaInにできるので、AlGaInに比較して直列抵抗が低くなり、素子のVf（順方向電圧）を低下させることもできる。

## 【0020】

## 【実施例】

以下実施例において、本発明を詳説するが以下の実施例は本発明における一例を示すものであって、必ずしも以下の構造に限定されるものではない。 40

## 【0021】

## [実施例1]

図1は本実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、共振面に平行な方向で素子を切断した際の図を示すものである。以下、この図を基に実施例1について説明する。

## 【0022】

1インチ角のSiドーピングGaInよりなる窒化物半導体基板1を用意する。この窒化物半導体基板1は、以下のようにして成長させたものである。

## 【0023】

10

20

30

40

50

## (窒化物半導体基板1)

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1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(TMGe)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)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。

## 【0024】

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、ストライプ幅10μm、ストライプ間隔(窓部)2μmのSiO<sub>2</sub>よりなる保護膜を形成する。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、TMGe、アンモニアを用い、アンドープGaN層を5μm成長させ、SiO<sub>2</sub>の表面を覆う。成長後、ウェーハをMOVPE装置からHVPE装置に移送しGaメタルと、アンモニア、HCl、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaN層を200μmの膜厚で成長させる。成長後、サファイア基板側から研磨して、サファイア基板、バッファ層、下地層、保護膜を除去することにより、総膜厚170μmのSiドープGaNからなる窒化物半導体基板1を作製する。SiドープGaNのSi濃度は $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。

10

## 【0025】

## (バッファ層2)

以上のようにして作製した窒化物半導体基板1をMOVPE装置に移送し、アンモニアとTMGe、不純物ガスとしてシランガスを用い、AS-GROWN側の窒化物半導体基板面に、1050でSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるバッファ層2を2μmの膜厚で成長させる。このように窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上に、100μm以上の膜厚で基板となるような窒化物半導体を成長させ、その後異種基板を除去して窒化物半導体基板を作製した場合、その窒化物半導体基板のAS-GROWN面(異種基板除去側と反対側面)に、まずGaNを10μm以下の膜厚で成長させてバッファ層とすると、次に成長させる窒化物半導体の結晶性が良くなる傾向にある。

20

## 【0026】

## (n側クラッド層3)

続いて、1050でTMGe、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側クラッド層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

30

## 【0027】

## (n側光ガイド層4)

続いて、800でTMI(トリメチルインジウム)、TMGe、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる層を20オングストローム成長させ、続いてTMIを止めてシランガスを流し、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaN層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚800オングストロームのn側光ガイド層4を成長させる。

## 【0028】

## (活性層5)

次に、800で、Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。続いて750で、アンドープIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nよりなる井戸層(第1の窒化物半導体層)を30オングストロームの膜厚で成長させる。次に温度を750に保持したままTMAを原料ガスに加え、アンドープAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の窒化物半導体層を10オングストローム成長させる。次に温度を800に上昇してSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる障壁層(第3の窒化物半導体層)を100オングストローム成長させる。

40

## 【0029】

障壁層成長後、温度を750に下げ、続いてアンドープIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nよりなる井戸層(第1の窒化物半導体層)を30オングストロームの膜厚で成長させる。続いて750

50

にて、アンドープ  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる第2の窒化物半導体層を100 Å成長させ、次に温度を800 °CにしてSiドープ  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる障壁層(第3の窒化物半導体層)を100 Å成長させる。

【0030】

このようにして障壁+(井戸+第2+障壁)×5とを積層した総膜厚800 Åの多重量子井戸構造からなる活性層5を成長させる。

【0031】

活性層5では、 $\text{InGaN}$  からなる井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きいか、若しくは膜厚が厚い障壁層との間に、30 Å以下で、障壁層とバンドギャップエネルギーが同一か、それよりも大きい  $\text{AlGaIn}$ 、 $\text{GaN}$  ( $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $0 < x < 1$ ) からなる第2の窒化物半導体を成長させることが望ましい。一般に第2の窒化物半導体の分解温度は井戸層よりも高い。従って、その分解温度の高い第2の窒化物半導体層の上に  $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaIn}$  (この場合、 $\text{In}$ 組成比は井戸層よりも小さい) 等からなる障壁層を成長させると、障壁層を厚膜で成長させた場合に結晶性が良くなる。また井戸層と障壁層との間に  $\text{Al}$  を含む窒化物半導体層が存在すると、閾値が低下しやすい傾向にある。従って第1、第2、第3の窒化物半導体層を繰り返して積層した多重量子井戸構造の活性層を成長させることにより、長波長の素子が得られて、素子の出力が向上する。

【0032】

(p側光ガイド層6)

続いて800 °Cで、アンドープ  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる層を20 Å成長させ、続いて  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  ガスを流し、 $\text{Mg}$  を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたp型  $\text{GaN}$  層を20 Åの膜厚で成長させる。そしてこれらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚800 Åのp側光ガイド層6を成長させる。

【0033】

なお、前記工程においてn側光ガイド層4、及びp側光ガイド層6のいずれか一方を省略することもできる。省略した場合はコア部の厚さが薄くなり光の閉じ込めが悪くなるので、活性層5の井戸+障壁のペア数を増やして、活性層の膜厚を1000 Å以上、好ましくは1200 Å以上、最も好ましくは1500~3000 Åにすることが望ましい。さらに、活性層を多重量子井戸構造で形成する場合、少なくとも一方の端部は障壁層とすることが閾値を低下させる上で望ましい。なお、上記コア部とは、活性層とガイド層とを合わせた部分を指す。

【0034】

(p側クラッド層7)

続いて、850 °Cで  $\text{Mg}$  を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープしたp型  $\text{GaN}$  よりなる層を1.0 μm成長させる。p側クラッド層7の膜厚はVfを低下させる上で、n側クラッド層3よりも薄くすることが望ましく、好ましくは1.2 μm以下、さらに好ましくは1 μm以下に調整する。レーザ素子の光閉じ込め層としての下限としては200 Å以上にすることが望ましい。

【0035】

(p側コンタクト層8)

最後に、850 °Cで  $\text{Mg}$  を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープしたp型  $\text{GaN}$  よりなるp側コンタクト層8を150 Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層は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  $\text{Mg}$  をドープした  $\text{GaN}$ 、 $\text{InGaIn}$  とすれば、p電極20と最も好ましいオーミック接触が得られる。また  $\text{Mg}$  濃度はVfを低下させる上でp側クラッド層よりも大きくすることが望ましい。

【0036】

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側コンタクト層の表面に、幅1.5 μmのストライプ状の  $\text{SiO}_2$  よりなる保護膜を形

10

20

30

40

50

成する。そしてRIE（反応性イオンエッチング装置）を用い $\text{SiCl}_4$ ガスによりエッチングし、 $n$ 側クラッド層4の表面を露出させ、保護膜直下部分にストライプ状の導波路領域を形成する。このようにストライプ導波路を形成する場合、エッチストップは、 $p$ 側クラッド層7を $0.2\ \mu\text{m}$ 以下の膜厚で残した位置から下側、好ましくは $p$ 側クラッド層7と、 $p$ 側光ガイド層6との界面から基板側に至る窒化物半導体層で止めた位置とすると、リーク電流が発生しにくく、閾値が低下しやすい。

#### 【0037】

ストライプ導波路形成後、 $\text{SiO}_2$ マスクをつけたまま、窒化物半導体層の表面に $\text{ZrO}_2$ よりなる絶縁膜100を形成する。絶縁膜100形成後、パuffアードフッ酸に浸漬して、 $p$ 側コンタクト層の上に形成した $\text{SiO}_2$ を溶解除去し、リフトオフ法により $\text{SiO}_2$ と共に、 $p$ 側コンタクト層の上にある $\text{ZrO}_2$ を除去する。このように導波路領域を形成するための保護膜を $\text{SiO}_2$ で形成し、その上から $\text{ZrO}_2$ 等の $\text{SiO}_2$ と異なる材料よりなる絶縁膜を形成して、リフトオフ法によりコンタクト層の上の絶縁膜のみを除去することにより、ストライプ導波路の側面及びその側面と連続した窒化物半導体層の表面に均一な膜厚で絶縁性の高い膜が製膜できる。

10

#### 【0038】

絶縁膜100形成後、 $\text{Ni}/\text{Au}$ からなる $p$ 電極20を図1に示すように、絶縁膜100を介して $p$ 側コンタクト層8と良好なオーミックが得られるように形成する。一方 $\text{GaN}$ 基板の裏面には $\text{Ti}/\text{Al}$ よりなる $n$ 電極21をほぼ全面に形成し、その上に $\text{Au}/\text{Sn}$ よりなるメタライズ電極を形成する。

20

#### 【0039】

$p$ 、 $n$ 電極両形成後、窒化物半導体基板1の $M$ 面（窒化物半導体を六角柱で表した場合にその六角柱の側面に相当する面）でを劈開して、その劈開面に共振器を作製する。なお、ストライプ導波路を形成する際、この劈開面を予め決定しておき、ストライプ方向がこの劈開面に対して、ほぼ垂直になるように設計することは言うまでもない。そしてストライプに平行な方向で切断してレーザチップとする。

#### 【0040】

レーザチップ作製後、 $\text{GaN}$ 基板の $n$ 電極21側をメタライズされたヒートシンクに設置して、図1に示すように $p$ 電極20のストライプの直上部にない位置に $\text{Au}$ 線22をワイヤーボンディングしてレーザ素子とする。このレーザ素子を室温でレーザ発振を試みたところ、発振波長 $530\ \text{nm}$ と従来のレーザ素子に比較して $100\ \text{nm}$ 以上波長が長くなり、閾値電流密度 $5\ \text{kA}/\text{cm}^2$ において室温連続発振を示し、電流電圧特性を測定しても、初期のリーク電流はほとんど発生していなかった。さらに電流値を上げて出力を上げ、 $20\ \text{mW}$ としても、素子自体にショートは発生せず、30時間以上の連続発振を続けた。

30

#### 【0041】

##### [実施例2]

実施例1において、 $n$ 側光ガイド層4を成長させる際に、 $\text{Si}$ を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させ、アンドープ $\text{GaN}$ 層を20オングストロームの膜厚で交互に成長させて、総膜厚800オングストロームの超格子層を構成する。

40

#### 【0042】

さらに、 $p$ 側光ガイド層6を成長させる際に、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $p$ 型 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させ、アンドープ $\text{GaN}$ 層を20オングストロームの膜厚で交互に成長させて、総膜厚800オングストロームの超格子層を構成する。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものとほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

#### 【0043】

##### [実施例3]

実施例1において、 $n$ 側光ガイド層4を成長させる際、最初にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させた後、 $\text{Si}$ を $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $n$ 型 $\text{Ga}$

50



N層を200オングストロームの膜厚で成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。次にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を200オングストローム成長させた後、Si濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ にしたn型Ga<sub>0.95</sub>N層を200オングストローム成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。

【0044】

さらにp側光ガイド層6を成長させる際、最初にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を200オングストローム成長させた後、Mgを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.95</sub>N層を200オングストローム成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。次にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を200オングストローム成長させた後、Mg濃度を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ にしたp型Ga<sub>0.95</sub>N層を200オングストローム成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものと同様の特性を有するレーザ素子が得られた。

10

【0045】

[実施例4]

実施例1において、n側光ガイド層4を成長させる際にSiを $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を200オングストロームと、Siを $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.95</sub>N層を200オングストローム成長させて、総膜厚800オングストロームの超格子層を成長させる。

20

【0046】

またp側光ガイド層6を成長させる際にMgを $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を200オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.95</sub>N層を200オングストローム成長させて、総膜厚800オングストロームのp側光ガイド層6を成長させる。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものと同様の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0047】

[実施例5]

図2は本発明の他の実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図である。以下この図を元に実施例5について説明する。

30

【0048】

実施例1と同様にして得た窒化物半導体基板1の上に、実施例1と同様にしてSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.95</sub>Nバッファ層2を3μmの膜厚で成長させる。

【0049】

(活性層55)

次に、800℃にてSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させ、続いて750℃にて、アンドープ $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。次に750℃に保持したまま、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ を10オングストローム成長させる。次に800℃にてSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層を100オングストローム成長させる。

40

【0050】

障壁層成長後、温度を750℃に下げ、続いてアンドープ $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。続いて750℃にて、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層(第2の窒化物半導体層)を10オングストローム成長させ、次に800℃にてSiドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層を100オングストローム成長させる。

【0051】

このようにして障壁+(井戸+第2+障壁)×5とを積層した総膜厚800オングストロームの多重量子井戸構造からなる活性層5を成長させる。

【0052】

50

( p 側クラッド層 6 6 )

8 0 0 で、アンドープ  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる層を 2 0 オングストローム成長させ、続いて  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  ガスを流し、 $\text{Mg}$  を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした p 型  $\text{GaN}$  層を 2 0 オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚 8 0 0 オングストロームの p 側クラッド層 6 6 を成長させる。

【 0 0 5 3 】

( p 側コンタクト層 8 8 )

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

【 0 0 5 4 】

成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層の p 側コンタクト層の表面にオーミック用の  $\text{Ni} / \text{Au}$  からなる透光性の p 電極 2 0 ' を 2 0 0 オングストロームの膜厚で形成し、その上に  $\text{Au}$  からなるボンディング用の p パッド電極 3 0 を形成する。一方窒化物半導体基板の裏面のほぼ全面には  $\text{Ti} / \text{Al}$  よりなる n 電極 2 1 ' を形成する。

【 0 0 5 5 】

電極形成後、矩形上のチップに分離して LED 素子としたところ、2 0 mA において 5 3 0 nm の発光を示し、順方向電圧 3 . 2 V と従来の LED 素子に比較して 0 . 2 V 以上低下し、出力は 1 . 2 倍以上に向上した。

【 0 0 5 6 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によると 4 3 0 nm 以上の波長で発振するレーザ素子が得られる。また本発明はレーザ素子、LED 素子について説明したが、本発明はレーザ素子だけではなく、In を有する井戸層を有する素子であれば、SLD、受光素子等のような窒化物半導体デバイスに適用できることは言うまでもない。

【 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構造を示す模式断面図。

【 図 2 】 本発明の他の実施例に係る LED 素子の構造を示す模式断面図。

【 符号の説明 】

- 1 窒化物半導体基板
- 2 バッファ層
- 3 n 側クラッド層
- 4 n 側光ガイド層
- 5、5 5 活性層
- 6 p 側光ガイド層
- 7、6 6 p 側クラッド層
- 8、8 8 p 側コンタクト層
- 2 0、2 0 ' p 電極
- 2 1、2 1 ' n 電極
- 3 0 p パッド電極
- 2 2 Au 線
- 1 0 0 絶縁膜

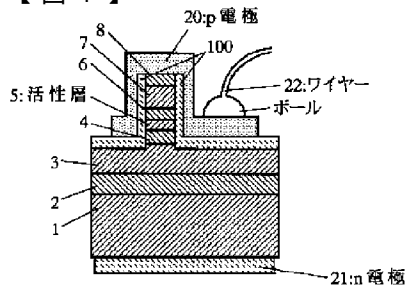
10

20

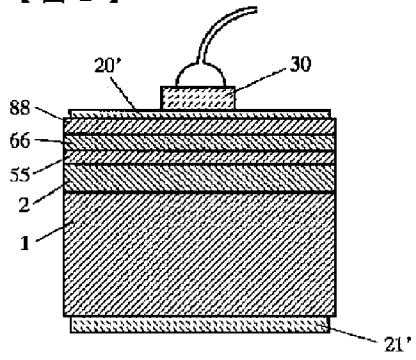
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H01S 5/00-5/50