

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4378070号
(P4378070)

(45) 発行日 平成21年12月2日(2009. 12. 2)

(24) 登録日 平成21年9月18日(2009. 9. 18)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 33/00 (2006. 01)	H O 1 L 33/00 1 8 6
H O 1 S 5/343 (2006. 01)	H O 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 5 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2002-128255 (P2002-128255)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成14年4月30日(2002. 4. 30)		日亜化学工業株式会社
(62) 分割の表示	特願平9-364012の分割		徳島県阿南市上中町岡491番地100
原出願日	平成9年12月16日(1997. 12. 16)	(74) 代理人	100100158
(65) 公開番号	特開2003-17746 (P2003-17746A)		弁理士 鮫島 睦
(43) 公開日	平成15年1月17日(2003. 1. 17)	(74) 代理人	100068526
審査請求日	平成16年12月16日(2004. 12. 16)		弁理士 田村 恭生
審査番号	不服2007-23217 (P2007-23217/J1)	(74) 代理人	100118681
審査請求日	平成19年8月23日(2007. 8. 23)		弁理士 田村 啓
(31) 優先権主張番号	特願平9-1937	(72) 発明者	長濱 慎一
(32) 優先日	平成9年1月9日(1997. 1. 9)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		日亜化学工業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平9-12707	(72) 発明者	妹尾 雅之
(32) 優先日	平成9年1月27日(1997. 1. 27)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		日亜化学工業株式会社内

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】

基板上に、バッファ層と、表面に電極が形成されるn側コンタクト層を含む1又は多層のn型窒化物半導体層と、活性層と、1又は多層のp型窒化物半導体層とを有する窒化物半導体素子において、

前記バッファ層と前記n側コンタクト層の間に、前記n側コンタクト層に比較して不純物濃度が低い窒化物半導体からなる第2のバッファ層を有し、該第2のバッファ層上に直接前記n側コンタクト層が0. 2 μm以上、4 μm以下の膜厚で形成されており、

前記バッファ層はGaNよりなり、

前記第2のバッファ層は、窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なる窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層であり、前記第1の層及び前記第2の層の内の少なくとも一方に、該層の導電型をn型に設定する不純物がドーピングされており、前記第1の層及び前記第2の層の前記不純物の濃度が互いに異なることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】

前記第2のバッファ層が前記バッファ層より厚い請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】

前記第2のバッファ層の膜厚が0. 1 μm以上、20 μm以下である請求項1又は2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】

10

20

前記第1の層及び第2の層は、膜厚100オングストローム以下である請求項1乃至3のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】

前記第2のバッファ層は $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$) で構成される請求項1乃至4のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はLED（発光ダイオード）、LD（レーザダイオード）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、又はトランジスタ等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$ ）よりなる素子に関する。なお、本明細書において使用する一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 等は単に窒化物半導体層の組成式を示すものであって、異なる層が例えば同一の一般式で示されていても、それらの層のX値、Y値が一致していることまで示すものではない。

【0002】

【従来の技術】

窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号等で最近実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造（SQW：Single-Quantum-Well）のInGa_Nよりなる活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長はInGa_N活性層のIn組成比を増減することで決定されている。

【0003】

また、本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した（例えば、Jpn.J.Appl.Phys. Vol35 (1996) pp.L74-76）。このレーザ素子はパルス幅2μs、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm²、410nmの発振を示す。さらにまた、閾値電流が低い改良したレーザ素子を、Appl.Phys.Lett., Vol.69, No.10, 2 Sep. 1996, p.1477-1479において発表した。このレーザ素子は、p型窒化物半導体層の一部にリッジストラップが形成された構造を有しており、パルス幅1μs、パルス周期1ms、デューティ比0.1%で、閾値電流187mA、閾値電流密度3kA/cm²、410nmの発振を示す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

窒化物半導体よりなる青色、緑色LEDは順方向電流（If）20mAで、順方向電圧（Vf）が3.4V～3.6Vあり、GaAlAs系の半導体よりなる赤色LEDに比べて2V以上高いため、さらなるVfの低下が望まれている。また、LDでは閾値での電流、電圧が未だ高く、室温で連続発振させるためには、この閾値電流、電圧が下がるような、さらに電力効率の高い素子を実現する必要がある。

【0005】

従って本発明の目的とするところは、主として窒化物半導体よりなるLD素子の閾値での電流、電圧を低下させることにより連続発振を実現し、またLED素子ではVfを低下させ、信頼性が高く、電力効率に優れた窒化物半導体素子を実現することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、窒化物半導体素子について、活性層を挟んだp型層、及び／又はn型層を改良すべく鋭意検討した結果、活性層を除くp型層、及び／又はn型層に超格子層を用いることにより、超格子層を用いた層の結晶性を良好にでき、前記問題を解決できることを新たに見だし本発明を成すに至った。

すなわち、本発明に係る請求項1記載の窒化物半導体素子は、基板上に、バッファ層と、表面に電極が形成されるn側コンタクト層を含む1又は多層のn型窒化物半導体層と

10

20

30

40

50

、活性層と、1又は多層のp型窒化物半導体層とを有する窒化物半導体素子において、前記バッファ層と前記n側コンタクト層の間に、前記n側コンタクト層に比較して不純物濃度が低い窒化物半導体からなる第2のバッファ層を有し、該第2のバッファ層上に直接前記n側コンタクト層が形成されており、前記バッファ層はGaNよりなり、前記第2のバッファ層は、窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なる窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層であり、前記第1の層及び前記第2の層の内の少なくとも一方に、該層の導電型をn型に設定する不純物がドーピングされており、前記第1の層及び前記第2の層の前記不純物の濃度が互いに異なることを特徴とする。

【0007】

また、本発明に係る請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の窒化物半導体素子において、前記第2のバッファ層が前記バッファ層より厚いとしたものである。

10

【0008】

さらに、本発明に係る請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の窒化物半導体素子において、前記第2のバッファ層の膜厚が0.1μm以上、20μm以下であるとしたものである。

【0009】

また、本発明に係る請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子において、前記第1の層及び第2の層は、膜厚100オングストローム以下であるとしたものである。

20

【0010】

また、本発明に係る請求項5に記載の発明は、請求項1乃至4のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子において、前記第2のバッファ層は $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$) で構成されたとしたものである。

【0011】

また、本発明に係る請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の窒化物半導体素子において、前記第2のバッファ層は、アンドープでY値が0.1以下の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ で構成されたとしたものである。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態の窒化物半導体素子について説明する。

30

実施形態1.

図1は、本発明に係る実施形態1の窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図であり、該窒化物半導体素子は、基本的な構造として、サファイアよりなる基板1の上に、GaNよりなるバッファ層2、Siドーピングn型GaNよりなるn側コンタクト層3、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層4、互いに組成の異なる第1の層と第2の層とが積層された超格子層よりなるp側クラッド層5、MgドーピングGaNよりなるp側コンタクト層6とが順に積層されているLED素子である。なお、実施形態1の窒化物半導体素子において、p側コンタクト層6表面のほぼ全面には、透光性の全面電極7が形成され、全面電極7の表面にはボンディング用のp電極8が設けられており、さらにp側コンタクト層6より窒化物半導体層の一部をエッチング除去して露出されたn側コンタクト層2の表面にはn電極9が設けられている。

40

【0021】

ここで、実施形態1の窒化物半導体素子は、例えばp型不純物としてMgをドーピングした $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) よりなる膜厚30オングストロームの第1の層と、同じくp型不純物としてMgを第1の層と同量でドーピングしたp型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) よりなる膜厚30オングストロームの第2の層とが積層された超格子層で構成された低い抵抗値を有するp側クラッド層5を備えているので、Vfを低くできる。このように超格子層をp層側に形成する場合は、Mg、Zn、Cd、Be等のp型不純物を第1の層、及び／又は第2の層にドーピングしてp型の導電型を有する超格子層とする。積層順としては、第1+第2+第1・・・、若しくは第2+第1+第2・・・の順でも良く、少な

50

くとも合計2層以上積層する。

【0022】

尚、超格子層を構成する窒化物半導体よりなる第1の層及び第2の層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) よりなる層及び $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) よりなる層に限定されるわけではなく、互いに組成が異なる窒化物半導体で構成されていれば良い。また、第1の層と第2の層とのバンドギャップエネルギーが異なっている、同一でもかまわない。例えば、第1の層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) で構成し、第2の層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y \leq 1$) で構成すると、第2の層のバンドギャップエネルギーが必ず第1の層よりも大きくなるが、第1の層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) で構成し、第2の層を $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$) で構成すれば、第1の層と第2の層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。また第1の層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) で構成し、第2の層を $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$) で構成すれば、同様に第1の層と第2の層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。すなわち、本発明は、後述する作用を有する超格子層であれば、第1の層と第2の層のバンドギャップエネルギーが同じであっても、異なっている、異なる、組成の異なる極めて薄い層が積層されたものであって、各層の厚さが十分薄いために、格子不整に伴う欠陥が発生することなく積層された層のことをいい、量子井戸構造を含む広い概念である。また、この超格子層は、内部に欠陥は有しないが、通常、格子不整に伴う歪みを有するので歪み超格子とも呼ばれる。本発明において、第1の層、第2の層のN（窒素）を一部As、P等のV族元素で置換してもNが存在している限り窒化物半導体に含まれる。

【0023】

本発明において、超格子層を構成する第1の層、第2の層の膜厚は、100オングストロームよりも厚いと、第1の層及び第2の層が弾性歪み限界以上の膜厚となり、該膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすくなるので、100オングストローム以下の膜厚に設定することが好ましい。また、第1の層、第2の層の膜厚の下限は特に限定されず1原子層以上であればよい。しかしながら、本発明では、第1の層、第2の層の膜厚は、100オングストロームであると窒化物半導体の臨界（弾性歪み）限界膜厚に十分に達しておらず、弾性歪み限界膜厚以下にして窒化物半導体の結晶欠陥をより少なくするため70オングストローム以下に設定することが好ましく、さらに好ましくはより薄く設定し、40オングストローム～10オングストロームに設定することが最も好ましい。また、本発明では、10オングストローム以下（1原子層又は2原子層）に設定してもよいが、10オングストローム以下に設定すると、例えば、500オングストローム以上の膜厚のクラッド層を超格子層で形成する場合、積層数が多くなり、製造工程上、形成時間及び手間がかかるので、第1の層、第2の層の膜厚は、10オングストロームより厚く設定することが好ましい。

【0024】

図1に示す本実施形態1の窒化物半導体素子の場合、超格子層よりなるp型クラッド層5は、活性層4と電流注入層であるp側コンタクト層6との間に形成されて、キャリア閉じ込め層として作用している。このように、特に超格子層をキャリア閉じ込め層とする場合には、超格子層の平均バンドギャップエネルギーを活性層よりも大きくする必要がある。窒化物半導体では、 AlN 、 AlGaInN 、 InAlN 等のAlを含む窒化物半導体が、比較的大きなバンドギャップエネルギーを有するので、キャリア閉じ込め層としてこれらの層が用いられる。しかし、従来のように AlGaInN 単一で厚膜を成長させると結晶成長中にクラックが入りやすい性質を有している。

【0025】

そこで、本発明では、超格子層の第1の層、及び第2の層の内の少なくとも一方を少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y \leq 1$) を弾性歪み限界以下の膜厚で形成して超格子層を構成することにより、クラックの少ない非常に結晶性の良い超格子層を成長形成させ、しかもバンドギャップエネルギーが大きな層を形成

している。この場合さらに好ましくは、第1の層にAlを含まない窒化物半導体層を100オングストローム以下の膜厚で成長させると、Alを含む窒化物半導体よりなる第2の層を成長させる際のバッファ層としても作用し、第2の層にクラックを入りにくくする。そのため第1の層と第2の層とを積層してもクラックのない結晶性のよい超格子層を形成できる。従って、本実施形態1では、超格子層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる第1の層（第2の層）と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$ 、 $x \neq y = 0$) からなる第2の層（第1の層）とすることが好ましい。

【0026】

また、本実施形態1の窒化物半導体素子において、超格子層であるp側クラッド層5を構成する第1の層及び第2の層の内の少なくとも一方の層には、キャリア濃度を調整するために、該層の導電型をp型に設定するp型の不純物がドーピングされることが好ましい。また、第1の層と第2の層とにp型の不純物をドーピングする場合、第1の層と第2の層とで異なる濃度でドーピングしてもよく、さらに、第1の層と第2の層とのバンドギャップエネルギーが異なる場合には、バンドギャップエネルギーが大きな層の方を高濃度とすることが望ましい。なぜなら、第1の層、第2の層にそれぞれ異なる濃度で不純物をドーピングすると、変調ドーピングによる量子効果によって、一方の層のキャリア濃度が実質的に高くなり超格子層全体の抵抗値を低下させることができるからである。このように、本発明では、第1の層と、第2の層の両方に不純物を異なる濃度でそれぞれドーピングしても良いし、第1の層、第2の層のいずれか一方に不純物をドーピングしても良い。

【0027】

なお、第1の層及び第2の層にドーピングされる不純物濃度は、特に本発明はこれに限定されないが、p型不純物で通常、 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、最も好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ よりも少ないとVf、閾値電圧を低下させる効果が得られにくく、 $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ よりも多いと超格子層の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。またn型不純物も同様の範囲に調整することが望ましい。理由は同じである。

【0028】

しかしながら、本発明では、超格子層には、第1の層及び第2の層に導電型を決定する不純物がドーピングされていなくてもよい。この不純物がドーピングされない超格子層は、n型窒化物半導体層領域であれば活性層と基板との間におけるいずれの層であってもよく、一方、p型窒化物半導体層領域であれば、キャリア閉じ込め層（光閉じ込め層）と、活性層との間におけるいずれの層であってもよい。

【0029】

以上のように構成された超格子層は、第1の層、及び第2の層を弾性歪み限界以下の膜厚にして積層して形成しているので、結晶の格子欠陥を低下させることができ、かつ微少なクラックを減少させることができ、結晶性を飛躍的に良くすることができる。この結果、結晶性をあまり損なうことなく、不純物のドーピング量を多くでき、これによって、n型窒化物半導体層、p型窒化物半導体層のキャリア濃度を増加させることができ、かつ該キャリアが結晶欠陥によって散乱されることなく移動できるので、超格子構造を有しないp型又はn型の窒化物半導体に比較して抵抗率を1桁以上低くすることができる。

【0030】

従って、本実施形態1の窒化物半導体素子（LED素子）では、従来、低抵抗な窒化物半導体層を得ることが困難であったp層側（p型半導体層領域（p型クラッド層5とp型コンタクト層6とからなる領域））のp型クラッド層5を超格子層を用いて形成して、該p型クラッド層5の抵抗値を低くすることにより、Vfを低くすることができる。つまり、p型窒化物半導体は、p型結晶が非常に得られにくい半導体であり、得られたとしても、n型窒化物半導体に比べて、通常抵抗率が2桁以上高い。そのためp型の超格子層をp層側に形成することにより、超格子層で構成されたp型層を極めて低抵抗にすることができ、Vfの低下が顕著に現れる。従来、p型結晶を得るため技術として、p型不純物をド

10

20

30

40

50

ープした窒化物半導体層をアニーリングして、水素を除去することにより p 型の窒化物半導体を作製する技術が知られている（特許第 2 5 4 0 7 9 1 号）。しかし、p 型の窒化物半導体が得られたといってもその抵抗率は、数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上もある。そこで、この p 型層を p 型の超格子層とすることにより結晶性が良くなり、我々の検討によると、該 p 層の抵抗率を従来に比較して、1 桁以上低くすることができ、V f の低下させる効果が顕著に現れる。

【0031】

また、本実施形態 1 では、前記のように好ましくは第 1 の層（第 2 の層）を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) とし、第 2 の層（第 1 の層）を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$ 、 $x \neq y = 0$) で構成することにより、結晶性のよいクラックのない超格子層を形成することができるので、素子寿命を向上させることができる。

10

【0032】

次に、我々が以前に出願した特許公報を含む公知文献に開示された従来例と本発明とを比較して説明する。

まず、本発明に類似した技術として、我々は先に特開平 8-228048 号を提案した。この技術は活性層を挟む n 型クラッド層の外側、及び／又は p 型クラッド層の外側（つまり活性層からより離れた側）にレーザ光の光反射膜として AlGaIn 、 GaIn 、 InGaIn 等よりなる多層膜を形成する技術である。この技術は光反射膜として多層膜を形成するので、その各層の膜厚が $\lambda/4n$ (n : 窒化物半導体の屈折率、 λ : 波長) で設計されるため非常に厚い。従って多層膜の各膜厚が弾性歪み限界以下の膜厚ではない。また、USP 5, 146, 465 号には活性層を $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなるミラーで挟んだ構造のレーザ素子が記載されている。この技術も前技術と同様に $\text{AlGaIn}/\text{AlGaIn}$ をミラーとして作用させるために、各層の膜厚を厚くしなければならない。さらに AlGaIn のような硬い半導体をクラックなしに何層も積層することは非常に難しい。

20

【0033】

一方、本実施形態では超格子層を構成するように第 1 と第 2 の層の各膜厚を、設定（好ましくは、両方とも 100 オングストローム以下と臨界膜厚以下に設定する。）しており、前記技術とは異なる。本発明では超格子層を構成する窒化物半導体の歪み超格子による効果を利用し、結晶性を向上させて、V f を低下させている。

30

【0034】

さらに、特開平 5-110138、特開平 5-110139 号公報には薄膜の AlIn と GaIn とを積層して $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ の結晶を得る方法が記載されている。この技術は、所定の混晶比の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ の混晶を得るために、数十オングストロームの膜厚の AlIn 、 GaIn を積層する技術であって本発明の技術とは異なる。しかも InGaIn よりなる活性層を有していないので、超格子層にクラックが入りやすい。また、特開平 6-21511 号、6-268257 号公報では GaIn と InGaIn 、若しくは InGaIn と InGaIn とを積層した多重量子井戸構造の活性層を有するダブルヘテロ構造の発光素子が記載されている。本発明では活性層以外の層を多重量子井戸構造とする技術であり、この技術とも異なる。

40

【0035】

さらに本発明の素子では InGaIn のような、少なくともインジウムを含む窒化物半導体を活性層に備える場合に、超格子の効果が顕著に現れる。 InGaIn 活性層はバンドギャップエネルギーが小さく窒化物半導体素子の活性層としては最も適している。そのため $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなる超格子層を、活性層を挟設する層として形成すると、活性層とバンドギャップエネルギー差、屈折率差を大きくできるため、該超格子層がレーザ素子を実現する際に非常に優れた光閉じ込め層として動作する（実施形態 2 の窒化物半導体素子に適用）。さらに InGaIn は結晶の性質が他の AlGaIn のような Al を含む窒化物半導体に比べて柔らかいので、 InGaIn を活性層とすると、積層した各窒化物半導体層全体にクラックが入りにくくなる。逆に AlGaIn のような窒化

50

物半導体を活性層とすると、その結晶の性質が硬いために結晶全体にクラックが入りやすくなる傾向にある。

【0036】

さらにp側コンタクト層の膜厚を500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、上述したように抵抗率が数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上もあるp型窒化物半導体層の膜厚を500オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率を下げることができるため、閾値での電流、電圧が低下する。またp型層から除去される水素の量を多くすることができ、さらに抵抗率を低下させることができる。

【0037】

以上、詳述したように、本実施の形態1の窒化物半導体素子では、p型クラッド層5を第1の層と第2の層とが積層された超格子層で構成しているので、該p型クラッド層5を極めて低抵抗にでき、該素子の V_f を低くできる。

【0038】

以上の実施形態1では、p側クラッド層5に超格子層を用いたが、本発明はこれに限らず、p側コンタクト層6にp型の超格子層を用いてもよい。すなわち、電流（正孔）が注入されるp側コンタクト層6も例えば $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる第1の層と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなる第2の層とが積層されたp型の超格子層とすることもできる。p型コンタクト層6を超格子層として、第1の層のバンドギャップエネルギーが第2の層よりも小さい場合、バンドギャップエネルギーが小さい $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる第1の層を最表面にしてp電極と接触する層とすることが好ましく、これによって、p電極との接触抵抗が小さくなり好ましいオーミックが得られる。これはバンドギャップエネルギーが小さい第1の層の方が、第2の層よりもキャリア濃度の高い窒化物半導体層が得られやすい傾向にあるからである。また、本発明では、p型窒化物半導体層領域に、上述のp側クラッド層及びp側コンタクト層以外のp型窒化物半導体層をさらに形成する場合は、該p型窒化物半導体層を超格子層で構成してもよい。

【0039】

以上の実施形態1では、p側クラッド層5に超格子層を用いたが、本発明はp型窒化物半導体層領域に限らず、n型窒化物半導体領域のn側コンタクト層3にn型の超格子層を用いてもよい。このように、n側コンタクト層3を超格子層とする場合は、例えば、Si、Ge等のn型不純物を第1の層及び／又は第2の層にドーピングして、n型の導電性を有する超格子層を基板1と活性層4との間にn型コンタクト層3として形成することができる。この場合、特にn型コンタクト層3を不純物濃度が異なる超格子層とすると横方向の抵抗値が低下して、LDでは閾値電圧、電流が低下する傾向にあることが確認された。

【0040】

これは、バンドギャップエネルギーの大きな層の方に、多くn型不純物をドーピングした超格子層をn層側のコンタクト層として形成した場合について、以下のようなHEMT (High-Electron-Mobility-Transistor) に類似した作用が出現した効果が推察される。n型不純物がドーピングされたバンドギャップの大きい第1の層（第2の層）と、バンドギャップが小さいアンドープ { (undoped) ; 以下、不純物がドーピングされていない状態をアンドープという } の第2の層（第1の層）とを積層した超格子層では、n型不純物を添加した層と、アンドープの層とのヘテロ接合界面で、バンドギャップエネルギーの大きな層側が空乏化し、バンドギャップエネルギーの小さな層側の厚さ（100オングストローム）前後の界面に電子（二次元電子ガス）が蓄積する。この二次元電子ガスがバンドギャップエネルギーの小さな層側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、超格子層の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下すると推察される。

【0041】

また、本発明において、n型窒化物半導体層領域にn側のクラッド層を設ける場合は、該n側のクラッド層を超格子層としてもよい。n型窒化物半導体層領域にn側コンタクト層及びn側クラッド層以外のn型窒化物半導体層を形成する場合は、該n型窒化物半導体

10

20

30

40

50

層を超格子層としてもよい。しかし、n型窒化物半導体層領域に超格子層からなる窒化物半導体層を設ける場合、キャリア閉じ込め層としてのn側クラッド層、若しくは電流（電子）が注入されるn側コンタクト層3を超格子構造とすることが望ましいことはいうまでもない。

【0042】

このように、超格子層を活性層4と基板1との間のn型窒化物半導体層領域に設ける場合、超格子層を構成する第1の層、第2の層には不純物をドーピングしなくても良い。なぜなら窒化物半導体はアンドープでもn型になる性質があるからである。但し、n層側に形成する場合においても上述のように、第1の層、第2の層にSi、Ge等のn型不純物をドーピングして、不純物濃度の差を設ける方が望ましい。

10

【0043】

以上のように、超格子層をn型窒化物半導体層領域に形成した場合の効果は、超格子層をp型窒化物半導体層領域に設けた場合と同様に、結晶性の向上が挙げられる。詳細に説明すると、ヘテロ接合を有する窒化物半導体素子の場合、通常n型、p型のキャリア閉じ込め層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きいAlGaNで構成される。AlGaNは結晶成長が非常に難しく、例えば単一組成で0.5μm以上の膜厚で成長させようとする、結晶中にクラックが入りやすくなる性質がある。しかしながら、本発明のように第1の層と、第2の層とを弾性歪み限界以下の膜厚で積層して超格子層とすると、単一の第1の層、第2の層のみで結晶性の良いものが得られるため、全体を膜厚の厚い超格子層としても結晶性が良いままでクラッド層が成長できる。そのため全体の窒化物半導体の結晶性が良くなってn型領域の移動度が大きくなるので、その超格子層をクラッド層とした素子でVfが低下する。さらに、超格子層にSi、Geの不純物をドーピングして、超格子層をコンタクト層とした場合には前記したHEMTに類似した効果が顕著に現れてくるようになると思われる、閾値電圧、Vfをさらに低下させることができる。

20

【0044】

このように、本発明において、超格子層は、活性層を挟設するn型領域又はp型領域に形成されるキャリア閉じ込め層としてのクラッド層、活性層の光ガイド層、若しくは電極が接して形成される電流注入層として用いられるため、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーが活性層よりも大きくなるように調整することが望ましい。

30

【0045】

実施形態2.

次に、本発明に係る実施形態2について説明する。

図2は、本発明に係る実施形態2の窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図（レーザ光の共振方向に垂直な断面）であり、該窒化物半導体素子は、例えば、C面を主面とするサファイヤ等の基板10上に、n型窒化物半導体層領域（n側コンタクト層12、クラック防止層13、n側クラッド層14及びn側光ガイド層15からなる。）とp型窒化物半導体領域（キャップ層17、p側光ガイド層18、p側クラッド層19及びp側コンタクト層20からなる。）とによって挟設された窒化物半導体からなる活性層16を備えた窒化物半導体レーザダイオード素子である。

40

【0046】

ここで、本実施形態2の窒化物半導体素子は、n型窒化物半導体層領域におけるn側クラッド層14を超格子層で形成し、かつp型窒化物半導体領域におけるp側クラッド層19を超格子層で形成することにより、LD素子である窒化物半導体素子の閾値電圧を低く設定している。以下この図2を参照して本発明に係る実施形態2の窒化物半導体素子について詳細に説明する。

【0047】

この実施形態2の窒化物半導体素子においては、まず、基板10上にバッファ層11と第2のバッファ層112を介してn側コンタクト層12が形成され、さらにn側コンタクト層12上に、クラック防止層13、n側クラッド層14及びn側光ガイド層15が積層

50

されて、n型窒化物半導体層領域が形成される。尚、クラック防止層13の両側に露出されたn側コンタクト層12の表面にはそれぞれ、n側コンタクト層12とオーミック接触するn側電極23が形成され、該n側電極23上には、例えば、ワイヤーボンディング用のn側パッド電極が形成される。そして、n側光ガイド層15上に窒化物半導体からなる活性層16が形成され、さらに該活性層16上に、キャップ層17、p側光ガイド層18、p側クラッド層19及びp側コンタクト層20が積層されてp型窒化物半導体層領域が形成される。さらに、p側コンタクト層20上に該p側コンタクト層20とオーミック接触するp側電極21が形成され、該p側電極21上には、例えば、ワイヤーボンディング用のp側パッド電極が形成される。なお、p側コンタクト層20とp側クラッド層19の上部とによって、共振方向に長く伸びた峰状のリッジ部が構成され、該リッジ部を形成することによって、活性層16において、光りを幅方向（共振方向に直交する方向）に閉じ込め、リッジ部（ストライプ状の電極）に垂直な方向で劈開された劈開面を用いて、リッジ部の長手方向に共振する共振器を作製してレーザ発振させる。

10

【0048】

次に、実施形態2の窒化物半導体素子の各構成要素について説明する。

（基板10）

基板10にはC面を主面とするサファイアその他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）のような絶縁性の基板その他、SiC（6H、4H、3Cを含む）、ZnS、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

20

【0049】

（バッファ層11）

バッファ層11は、例えばAlN、GaN、AlGaN、InGaN等を900℃以下の温度で成長させて、膜厚数十オングストローム～数百オングストロームに形成する。このバッファ層11は、基板と窒化物半導体との格子定数不正を緩和するために形成するが、窒化物半導体の成長方法、基板の種類等によっては省略することも可能である。

【0050】

（第2のバッファ層112）

第2のバッファ層112は、前記バッファ層11の上に、前記バッファ層よりも高温で成長させた単結晶の窒化物半導体よりなる層であり、バッファ層11よりも厚膜を有する。この第2のバッファ層112は次に成長させるn側コンタクト層12よりもn型不純物濃度が少ない層とするか、若しくはn型不純物をドーピングしない窒化物半導体層、好ましくはGaN層とすると、第2のバッファ層112の結晶性が良くなる。最も好ましくはn型不純物をアンドープのGaNとすると最も結晶性が良い窒化物半導体を得られる。従来のように負電極を形成するn側コンタクト層を数 μm 以上の膜厚で、高キャリア濃度の単一の窒化物半導体層で構成しようとする、n型不純物濃度の大きい層を成長させる必要がある。不純物濃度の大きい厚膜の層は結晶性が悪くなる傾向にある。このため結晶性の悪い層の上に、活性層等の他の窒化物半導体を成長させても、結晶欠陥を他の層が引き継ぐことになって結晶性の向上が望めない。そこで、n側コンタクト層12層を成長させる前に、不純物濃度が小さい、結晶性の良い第2のバッファ層112を成長させることにより、キャリア濃度が大きく結晶性の良いn側コンタクト層12を成長させることができる。この第2のバッファ層112の膜厚は、0.1 μm 以上、さらに好ましくは0.5 μm 以上、最も好ましくは1 μm 以上、20 μm 以下に調整することが望ましい。第2のバッファ層112が0.1 μm よりも薄いと、不純物濃度の大きいn型コンタクト層12を厚く成長させなければならず、n側コンタクト層12の結晶性の向上があまり望めない傾向にある。また20 μm よりも厚いと、第2のバッファ層112自体に結晶欠陥が多くなりやすい傾向にある。また第2のバッファ層112を厚く成長させる利点として、放熱性の向上が挙げられる。つまりレーザ素子を作製した場合に、第2のバッファ層112で熱が広がりやすくレーザ素子の寿命が向上する。さらにレーザ光の漏れ光が第2のバッファ層112内で広がって、楕円形に近いレーザ光が得やすくなる。なお、第2のバッファ層11

30

40

50

2 は、基板に GaN、SiC、ZnO 等の導電性基板を使用した場合には省略してもよい。

【0051】

(n 側コンタクト層 12)

n 側コンタクト層 12 は負電極を形成するコンタクト層として作用する層であり、0.2 μm 以上、4 μm 以下に調整することが望ましい。0.2 よりも薄いと、後で負電極を形成する際に、この層を露出させるようにエッチングレートを制御するのが難しく、一方、4 μm 以上にすると不純物の影響で結晶性が悪くなる傾向にある。この n 側コンタクト層 12 の窒化物半導体にドーピングする n 型不純物の範囲は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも小さいと n 電極の材料と好ましいオーミックが得られにくくなるので、レーザ素子では閾値電流、電圧の低下が望めず、 $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも大きいと、素子自体のリーク電流が多くなったり、また結晶性も悪くなるため、素子の寿命が短くなる傾向にある。なお n 側コンタクト層 12 においては、n 電極 23 とのオーミック接触抵抗を小さくするために、該 n 側コンタクト層 12 のキャリア濃度を上げる不純物の濃度を、n クラッド層 14 よりも大きくすることが望ましい。なお、n 側コンタクト層 12 は基板に GaN、SiC、ZnO 等の導電性基板を使用し基板裏面側に負電極を設ける場合にはコンタクト層としてではなくバッファ層として作用する。

【0052】

また、第 2 のバッファ層 11、及び n 側コンタクト層 12 の内の少なくとも一方の層を、超格子層とすることもできる。超格子層とすると、この層の結晶性が飛躍的に良くなり、閾値電流が低下する。好ましくは第 2 のバッファ層 11 よりも膜厚が薄い n 側コンタクト層 12 の方を超格子層とする。n 側コンタクト層 12 を互いにバンドギャップエネルギーが異なる第 1 の層と第 2 の層とが積層されてなる超格子構造とした場合においては、好ましくはバンドギャップエネルギーの小さな層を露出させて n 電極 23 を形成することにより、n 電極 23 との接触抵抗が低くでき閾値を低下させることができる。なお n 型窒化物半導体と好ましいオーミックが得られる n 電極 23 の材料としては Al, Ti, W, Si, Zn, Sn, In 等の金属若しくは合金が挙げられる。

【0053】

また、n 型コンタクト層 12 を不純物濃度が異なる超格子層とすることにより、実施形態 1 において説明した HEMT に類似した効果により横方向の抵抗値を低くでき、LD 素子の閾値電圧、電流を低くすることができる。

【0054】

(クラック防止層 13)

クラック防止層 13 は、例えば、Si を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなり、例えば、500 オングストロームの膜厚を有する。このクラック防止層 13 は In を含む n 型の窒化物半導体、好ましくは InGaN を成長させて形成することにより、その上に形成される Al を含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。なお、このクラック防止層 13 は 100 オングストローム以上、0.5 μm 以下の膜厚で成長させることが好ましい。100 オングストロームよりも薄いと前記のようにクラック防止として作用しにくく、0.5 μm よりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。なお、このクラック防止層 13 は、本実施形態 1 のように n 側コンタクト層 12 を超格子とする場合、または次に成長させる n 側クラッド層 14 を超格子層とする場合には省略してもよい。

【0055】

(n 型超格子からなる n 側クラッド層 14)

n 側クラッド層は、例えば Si を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなり、20 オングストロームの膜厚を有する第 1 の層、及びアンドープの GaN よりなり、20 オングストロームの膜厚を有する第 2 の層とが交互に積層された超格

子層よりなり、全体で例えば $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このn型クラッド層14はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、超格子層とした場合にはいずれか一方の層をAlを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa_{0.95}Nを成長させることが望ましく、1000オングストローム以上、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下で成長させることにより良好なキャリア閉じ込め層が成長できる。このn型クラッド層14は単一の窒化物半導体で成長させることもできるが、超格子層とすることがクラックのない結晶性のよいキャリア閉じ込め層が形成できる。

【0056】

(n側光ガイド層15)

n側光ガイド層15は、例えば、Siを $5\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{0.95}Nからなり、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このn側光ガイド層15は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga_{0.95}N、InGa_{0.95}Nを成長させて形成することが望ましく、通常1000オングストローム～ $5\text{ }\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～ $1\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。なお、この光ガイド層15も超格子層にすることができる。n側光ガイド層15、n側クラッド層14を超格子層にする場合、超格子層を構成する窒化物半導体層の平均的なバンドギャップエネルギーは活性層よりも大きくする。超格子層とする場合には、第1の層及び第2の層の少なくとも一方にn型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。また、この光ガイド層15は、アンドープの窒化物半導体単独若しくはアンドープの窒化物半導体が積層された超格子でもよい。

【0057】

(活性層16)

活性層16は、例えば、Siを $8\times 10^{18}/\text{cm}^3$ でドープしたIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなり、25オングストロームの膜厚を有する井戸層と、Siを $8\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなり、50オングストロームの膜厚を有する障壁層とを交互に積層することにより、所定の膜厚を有する多重量子井戸構造(MQW)で構成する。活性層16においては、井戸層、障壁層両方に不純物をドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なおn型不純物をドープすると閾値が低下する傾向にある。また、このように活性層16を多重量子井戸構造とする場合には必ずバンドギャップエネルギーの小さい井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが小さい障壁層とを積層するため、超格子層とは区別される。井戸層の厚さは、1000オングストローム以下、好ましくは700オングストローム以下、最も好ましくは、500オングストローム以下にする。障壁層の厚さは1500オングストローム以下、好ましくは1000オングストローム以下、最も好ましくは700オングストローム以下にする。

【0058】

(p側キャップ層17)

p側キャップ層17は、活性層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい、例えば、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなり、例えば、200オングストロームの膜厚を有する。本実施形態2では、このように、キャップ層17を用いることが好ましいが、このキャップ層は、薄い膜厚に形成されるので、本発明では、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型としても良い。p側キャップ層17の膜厚は $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ より厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層17中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。また、p側キャップ層17の膜厚が、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上であると、キャリアがこのエネルギーバリアとなるp型キャップ層17をトンネル効果により通過できなくなるからであり、該トンネル効果によるキャリアの通過を考慮すると、上述したように500オングストローム以下、さらには300オングストローム以下に設定することが好ましい。

【0059】

また、p側キャップ層17には、LD素子を発振しやすくするために、Alの組成比が

大きい AlGaIn を用いて形成することが好ましく、該 AlGaIn を薄く形成する程、LD 素子は発振しやすくなる。例えば、Y 値が 0.2 以上の $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{In}$ であれば 500 オングストローム以下に調整することが望ましい。p 側キャップ層 17 の膜厚の下限は特に限定しないが、100 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。

【0060】

(p 側光ガイド層 18)

p 側光ガイド層 18 は、バンドギャップエネルギーが p 側キャップ層 17 よりも小さい、例えば、 Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaIn よりなり、 $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚を有する。この p 側光ガイド層 18 は、活性層 16 の光ガイド層として作用し、n 側光ガイド層 15 と同じく GaIn 、 InGaIn で成長させて形成することが望ましい。また、この層は p 側クラッド層 19 を成長させる際のバッファ層としても作用し、100 オングストローム～ $5 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは 200 オングストローム～ $1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。この p 側光ガイド層は通常は Mg 等の p 型不純物をドープして p 型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。なお、この p 側光ガイド層を超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には第 1 の層及び第 2 の層の少なくとも一方に p 型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0061】

(p 側クラッド層 19 = 超格子層)

p 側クラッド層 19 は、例えば、 Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{In}$ よりなり、例えば、20 オングストロームの膜厚を有する第 1 の層と、例えば Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaIn よりなり、20 オングストロームの膜厚を有する第 2 の層とが交互に積層された超格子層からなる。この p 側クラッド層 19 は、n 側クラッド層 14 と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、特に p 型層の抵抗率を低下させるための層として作用する。この p 側クラッド層 19 の膜厚も特に限定しないが、100 オングストローム以上、 $2 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは 500 オングストローム以上、 $1 \mu\text{m}$ 以下で形成することが望ましい。

【0062】

(p 側コンタクト層 20)

p 側コンタクト層 20 は、p 側クラッド層 19 の上に、例えば、 Mg を $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaIn よりなり、例えば、150 オングストロームの膜厚を有する。この p 側コンタクト層 20 は p 型の $\text{In}_X\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-X-Y}\text{In}$ ($0 \leq X$ 、 $0 \leq Y$ 、 $X+Y \leq 1$) で構成することができ、好ましくは、上述のように Mg をドープした GaIn とすれば、p 電極 21 と最も好ましいオーミック接触が得られる。さらに p 側コンタクト層の膜厚を 500 オングストローム以下、さらに好ましくは 300 オングストローム以下、最も好ましくは 200 オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、上述したように抵抗率が数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上もある p 型窒化物半導体層の膜厚を 500 オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率を下げることができるため、閾値での電流、電圧が低下する。また p 型層から除去される水素の量を多くすることができ、さらに抵抗率を低下させることができる。

【0063】

なお、本発明では、p 側コンタクト層 20 も超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には、特にバンドギャップエネルギーが異なる第 1 の層と第 2 の層とを積層し、第 1 + 第 2 + 第 1 + 第 2 + ... というように積層していき、最後にバンドギャップエネルギーが小さい方の層が露出するようにすると、p 電極 21 と好ましいオーミック接触が得られる。p 電極 21 の材料としては、例えば Ni 、 Pd 、 Ni/Au 等を挙げることができる。

【0064】

また、本実施形態 2 では、図 2 に示すように p 電極 21 と、n 電極 23 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 25 が形成され、この絶縁膜 25 に形

10

20

30

40

50

成された開口部を介してp電極21と電氣的に接続されたpパッド電極22、及びn電極23と接続されたnパッド電極24が形成される。このpパッド電極22は実質的なp電極21の表面積を広げて、p電極側をワイヤーボンディング、ダイボンディングできるようにし、一方nパッド電極24はn電極23の剥がれを防止する。

【0065】

以上の実施形態2の窒化物半導体素子は、第1の層、及び第2の層を弾性歪み限界以下の膜厚にして積層された超格子層である、結晶性のよいp型クラッド層19を備えている。これによって、本実施形態2の窒化物半導体素子は、p側クラッド層19の抵抗値を、超格子構造を有しないp側クラッド層に比較して1桁以上低くすることができるので、閾値電圧、電流を低くすることができる。

10

【0066】

また、本実施形態2の窒化物半導体素子ではp型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ を含むp側クラッド層19に接して、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体をp側コンタクト層20として、その膜厚を500オングストローム以下と薄く形成することにより、実質的にp側コンタクト層20のキャリア濃度が高くなりp電極と好ましいオーミックが得られて、素子の閾値電流、電圧を低くすることができる。さらに、n側コンタクト層を成長させる前に、第2のバッファ層112を備えているので、第2のバッファ層112の上に成長させる窒化物半導体層の結晶性が良くなり、長寿命の素子を実現できる。好ましくは、第2のバッファ層112の上に成長させるn側コンタクト層を超格子とすると、横方向の抵抗値が低くなり、閾値電圧・閾値電流の低い素子可以实现できる。

20

【0067】

なお、本実施形態2のLD素子では InGaN のような、少なくともインジウムを含む窒化物半導体を活性層16に備える場合には、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とが交互に積層された超格子層を、活性層16を挟設する層（n側クラッド層14及びp側クラッド層19）として用いることが好ましい。これによって、活性層16と該超格子層とのバンドギャップエネルギー差、屈折率差を大きくできるため、該超格子層をレーザ素子を実現する際に非常に優れた光閉じ込め層として動作させることができる。さらに InGaN は結晶の性質が他の AlGaIn のようなAlを含む窒化物半導体に比べて柔らかいので、 InGaIn を活性層とすると、積層した各窒化物半導体層全体にクラックが入りにくくなる。これによって、LD素子の寿命を長くすることができる。

30

【0068】

本実施形態2のように量子井戸構造を有する活性層16を有するダブルヘテロ構造の半導体素子の場合、その活性層16に接して、活性層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい膜厚0.1 μm 以下の窒化物半導体よりなるp側キャップ層17、好ましくはAlを含む窒化物半導体よりなるp側キャップ層17を設け、そのp側キャップ層17よりも活性層から離れた位置に、p側キャップ層17よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層18を設け、そのp側光ガイド層18よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層18よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体、好ましくはAlを含む窒化物半導体を含む超格子構造を有するp側クラッド層19を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層17のバンドギャップエネルギーを大きくしてあるため、n層から注入された電子が、このp側キャップ層17で阻止されて閉じ込められ、電子が活性層をオーバーフローしないために、素子のリーク電流が少なくなる。

40

【0069】

以上の実施形態2の窒化物半導体素子では、レーザ素子の構造として好ましい構造を示したが、本発明ではn型の超格子層は活性層16から下のn型窒化物半導体層領域（n型層側）に少なくとも1層有していれば良く、またp型の超格子層も活性層16から上のp型窒化物半導体層領域（p型層側）に少なくとも1層有していれば良く、素子構成は特に規定するものではない。但し、前記超格子層はp層側に形成する場合はキャリア閉じ込め層としてのp側クラッド層19に形成し、n層側に形成する場合はn電極23が接した電流注入層としてのnコンタクト層12、またはキャリア閉じ込めとしてのnクラッド層1

50

4として形成することが素子のV_f、閾値を低下させる上で最も好ましい傾向にある。また、実施形態2の素子と同様の構成を、LED素子に適用できることはいうまでもない（ただし、LED素子では、リッジ部は必要ない）。

【0070】

以上のように構成された実施形態2の窒化物半導体素子では、各層が形成された後、Hを含まない雰囲気、例えば、窒素雰囲気中で、400℃以上、例えば700℃でアニーリングを行うことが好ましく、これによって、p型窒化物半導体層領域の各層をさらに低抵抗化することができるので、これによって、さらに閾値電圧を低くすることができる。

【0071】

また、実施形態2の窒化物半導体素子では、p側コンタクト層12の表面にNiとAuよりなるp電極21がストライプ状に形成され、このp電極21に対して左右対称にn側コンタクト層を露出させて、そのn側コンタクト層表面のほぼ全面にn電極23を設けている。このように、絶縁性基板を用いた場合p電極21の両側に左右対称にn電極23を設ける構造は、閾値電圧を低くする上で非常に有利である。

【0072】

なお、本実施形態2では、リッジ部（ストライプ状の電極）に垂直な方向で劈開した劈開面（共振器面）にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成してもよい。

【0073】

このように、本発明において、超格子層は、活性層を挟設するn型領域又はp型領域に形成されるキャリア閉じ込め層としてのクラッド層、活性層の光ガイド層、若しくは電極が接して形成される電流注入層として用いられるため、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーが活性層よりも大きくなるように調整することが望ましい。

【0074】

【実施例】

以下、実施例において本発明を詳説する。

〔実施例1〕

本発明に係る実施例1は図2に示す窒化物半導体素子（LD素子）の作成例であり、以下の手順で作製される。

まず、サファイア（C面）よりなる基板10を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニア（NH₃）とTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板10上にGaNよりなる第1のバッファ層11を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0075】

バッファ層11成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のアンドープGaNよりなる第2のバッファ層112を5μmの膜厚で成長させる。第2のバッファ層は $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ （ $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$ ）で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはアンドープでAl（Y値）が0.1以下の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、最も好ましくはアンドープのGaNとする。

続いて、1050℃でTMG、アンモニア、不純物ガスにシランガス（SiH₄）を用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側コンタクト層12を1μmの膜厚で成長させる。このn側コンタクト層12は超格子で形成するとさらに好ましい。

【0076】

次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニア、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長

させる。

そして温度を 1050°C にして、TMA、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMA、シランを止め、アンドープGaNよりなる第2の層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ100回繰り返し、総膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の超格子層よりなるn側クラッド層14を成長させる。

【0077】

続いて、 1050°C でSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側光ガイド層15を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

10

次に、TMG、TMI、アンモニア、シランを用いて活性層16を成長させる。活性層16は温度を 800°C に保持して、まずSiを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ でドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を25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、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚 175 オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層16を成長させる。

【0078】

次に、温度を 1050°C に上げ、原料ガスにTMG、TMA、アンモニア、不純物ガスに Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、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17を300オングストロームの膜厚で成長させる。

20

続いて、 1050°C で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層17よりも小さい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側光ガイド層18を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0079】

続いて、TMA、TMG、アンモニア、 Cp_2Mg を用い、 1050°C でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を20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、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなる第2の層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこの操作をそれぞれ100回繰り返し、総膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層19を形成する。

30

最後に、 1050°C で、p側クラッド層19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20を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0080】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 700°C でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層20と、p側クラッド層19とをエッチングして、 $4 \mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

40

【0081】

次にリッジ表面にマスクを形成し、図2に示すように、ストライプ状のリッジに対して左右対称にして、n側コンタクト層12の表面を露出させる。

次にp側コンタクト層20のストライプリッジ最表面のほぼ全面にNiとAuよりなるp電極21を形成する。一方、TiとAlよりなるn電極23をストライプ状のn側コンタクト層3のほぼ全面に形成する。

【0082】

次に、図2に示すようにp電極21と、n電極23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25を形成し、この絶縁膜25を介してp電極21と電気

50

的に接続した p パッド電極 22、及び n パッド電極 24 を形成する。

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を研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側のサファイア基板 1 をラッピングし、基板の厚さを $50\text{ }\mu\text{m}$ とする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で $1\text{ }\mu\text{m}$ ポリッシングして基板表面を鏡面状とする。

【0083】

基板研磨後、研磨面側をスクライプして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、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チップとした。次にチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）で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、閾値電流密度 $2.9\text{ kA}/\text{cm}^2$ 、閾値電圧 4.4 V で、発振波長 405 nm の連続発振が確認され、 50 時間以上の寿命を示した。

10

【0084】

（比較例 1）

一方、第 2 のバッファ層 112 を成長させず、さらに n 側コンタクト層 12 を Si を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした n 型 GaN 単一で $5\text{ }\mu\text{m}$ 成長させ、n 側クラッド層 14 を Si を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした n 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 単一で $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 成長させ、p 側クラッド層 19 を Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 単一で $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 成長させ、さらに p 側コンタクト層 20 を Mg を $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした単一の p 型 GaN を $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 成長させる他は実施例 1 と同様にしてレーザ素子を得た。つまり基本構成として、表 1 に示すように構成する。

20

【0085】

【表 1】

基板	10・・・サファイア	
バッファ層	11・・・GaN	200 Å
nコンタクト層	12・・・Siドープn型GaN Si: $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$	5 μm
クラック防止層	13・・・Siドープn型In _{0.1} Ga _{0.9} N Si: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	500 Å
nクラッド層	14・・・Siドープn型Al _{0.2} Ga _{0.8} N Si: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	0.5 μm
n光ガイド層	15・・・Siドープn型GaN Si: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	0.1 μm
活性層(MQW)	16・・・SiドープIn _{0.2} Ga _{0.8} N	25 Å
	(総膜厚175 Å) SiドープIn _{0.01} Ga _{0.99} N Si: $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	50 Å
キャップ層	17・・・Mgドープp型Al _{0.1} Ga _{0.9} N Mg: $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	300 Å
p光ガイド層	18・・・Mgドープp型GaN Mg: $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	0.1 μm
pクラッド層	19・・・Mgドープp型Al _{0.2} Ga _{0.8} N Mg: $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	0.5 μm
pコンタクト層	20・・・Mgドープp型GaN Mg: $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	0.2 μm

【0086】

このように構成した比較例のレーザ素子は、閾値電流密度 $7 \text{ kA} / \text{cm}^2$ で連続発振が確認されたが、閾値電圧は8.0 V以上あり、数分で切れてしまった。

【0087】

[実施例2]

実施例1において、n側コンタクト層12を、Siを $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる第1の層を30オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、アンドープのGaNよりなる第2の層を30オングストロームの膜厚で成長させて、これを繰り返して、総膜厚1.2 μmの超格子構造とする。それ以外の構造は実施例1と同様の構造を有するレーザ素子としたところ、閾値電流密度 $2.7 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、閾値電圧4.2 Vで、寿命も60時間以上を示した。

【0088】

[実施例3]

実施例2において、n側コンタクト層12を構成する超格子において、第2の層をSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNとする他は、実施例2と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例2とほぼ同等の特性を有するレーザ素子を得られた。

【0089】

[実施例4]

実施例1において、第2のバッファ層112を、Siを $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNとして、4 μm成長させる他は、実施例1と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度 $2.9 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、閾値電圧4.5 Vに上昇したが、寿命は50時間以上を示した。

【0090】

[実施例5]

実施例1において、n側コンタクト層12を、Siを $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1の層を60オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたGa_{0.8}Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させて、順次これを繰り返し、総膜厚2μmの超格子構造とする。そして、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}N単一で0.4μm成長させる。それ以外の構造は実施例1と同様の構造を有するレーザ素子としたところ、閾値電流密度3.2kA/cm²、閾値電圧4.8Vで、寿命も30時間以上を示した。

10

【0091】

[実施例6]

実施例6は、実施例1と比較して、以下の(1)、(2)が異なる他は、実施例1と同様に構成される。

(1) バッファ層11成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、原料ガスにTMA、TMG、アンモニア、シランを用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1の層を60オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、シラン、TMAを止めアンドープのGa_{0.8}Nよりなる第2の層を40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、それぞれ第1の層を500層、第2の層を500層交互に積層し、総膜厚5μmの超格子よりなるn側コンタクト層12を形成する。

20

(2) 次に、実施例1と同様にして、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。

そして、温度を1050℃にして、TMA、TMG、アンモニア、シランを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるn側クラッド層14を0.5μmの膜厚で成長させる。

後の、n側クラッド層14から上は、実施例1のレーザ素子と同様の構造を有するレーザ素子とする。つまり表1の基本構造において、n側コンタクト層12、及びp側クラッド層19を超格子とし、p側コンタクト層20の膜厚を実施例1のように150オングストロームとするレーザ素子を作製する。このレーザ素子は閾値電流密度3.2kA/cm²、閾値電圧4.8Vで、405nmの連続発振が確認され、寿命も30時間以上を示した。

30

【0092】

さらに、実施例6の構造のLD素子のp側コンタクト層の膜厚を順次変更した際、そのp側コンタクト層の膜厚と、LD素子の閾値電圧との関係を図3に示す。これはp側コンタクト層が、左から順にA(10オングストローム以下)、B(10オングストローム)、C(30オングストローム)、D(150オングストローム、本実施例)、E(500オングストローム)、F(0.2μm)、G(0.5μm)、H(0.8μm)の場合の閾値電圧を示している。この図に示すように、p側コンタクト層の膜厚が500オングストロームを超えると閾値電圧が次第に上昇する傾向にある。p側コンタクト層20の膜厚は500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下であることが望ましい。なお10オングストローム以下(およそ1原子層、2原子層近く)になると、下部のp側クラッド層19の表面が露出してくるため、p電極のコンタクト抵抗が悪くなり、閾値電圧は上昇する傾向にある。しかしながら、本発明のLD素子では超格子層を有しているために、閾値電圧が比較例のものに比べて大幅に低下している。

40

【0093】

(比較例2)

表1の構成のレーザ素子において、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ド

50

ープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を180オングストロームの膜厚で成長させ、続いてアンドープのGa N よりなる第2の層を120オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚0.6 μm の多層膜とする。つまり第1の層と第2の層の膜厚を厚くした構造で構成してレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度6.5 kA/cm^2 で連続発振が確認され、閾値電圧が7.5Vであった。なおこのレーザ素子は数分で切れてしまった。

【0094】

[実施例7]

実施例6において、p側クラッド層19をMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 、60オングストロームよりなる第1の層と、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga N 、40オングストロームよりなる第2の層とを積層した総膜厚0.5 μm の超格子構造とする他は実施例6と同様のレーザ素子を作製する。つまり、実施例6のp側クラッド層19を構成する超格子層の膜厚を変える他は同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電圧が実施例6のレーザ素子に比較して若干上昇する傾向にあったが、20時間以上の寿命を示した。

【0095】

[実施例8]

実施例7において、さらにn側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 、60オングストロームよりなる第1の層と、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga N 、40オングストロームよりなる第2の層とを積層した総膜厚0.5 μm の超格子構造とする他は実施例7と同様のレーザ素子を作製する。つまり、実施例6のn側コンタクト層12、p側クラッド層19に加えてn側クラッド層を超格子としたレーザ素子は、実施例6とほぼ同等の特性を有していた。

【0096】

[実施例9]

実施例1において、第2のバッファ層112を成長させずに、表1に示すように、第1のバッファ層11の上に、直接n側コンタクト層12としてSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga N 層を5 μm 成長させる。その他は、実施例1と同様の構造を有するレーザ素子とする。つまり、表1の基本構造において、n側クラッド層14を20オングストロームのSi($1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)ドープn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層と、20オングストロームのアンドープGa N よりなる第2の層とを積層してなる総膜厚0.4 μm の超格子構造とする。さらにp側クラッド層19を20オングストロームのMg($1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$)ドープp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層と、20オングストロームのMg($1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$)ドープp型Ga N よりなる第2の層とを積層してなる総膜厚0.4 μm の超格子構造とする。さらにまたp側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームのMg($2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$)ドープp型Ga N としたところ、閾値電流密度3.3 kA/cm^2 で、405nmの連続発振が確認され、閾値電圧は5.0V、寿命も30時間以上を示した。

【0097】

[実施例10]

実施例9において、n側クラッド層14の超格子を構成する第2の層を、Siを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープしたGa N とする他は、実施例9と同様のレーザ素子を作製する。つまりバンドギャップエネルギーの大きい方の層に、Siを多くドープする他は、実施例9と同様にして作製したレーザ素子は、実施例9とほぼ同等の特性を示した。

【0098】

[実施例11]

実施例9において、n側クラッド層14を構成する第2の層を、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ とする他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまりn側クラッド層14の超格子を構成する第2の層の組成をInGa N とし、第1の層と第2の層との不純物濃度を同じにする他は、実施例9と同様にして作製したレ

10

20

30

40

50

ーザ素子は、実施例 9 とほぼ同等の特性を示した。

【0099】

[実施例 12]

実施例 9 において、n 側クラッド層 14 を構成する第 1 の層 (Si : $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープ Al_{0.2}Ga_{0.8}N) の膜厚を 60 オングストロームとし、第 2 の層を Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした 40 オングストロームの GaN とし、総膜厚 0.5 μm の超格子構造とする。さらに p 側クラッド層 19 を構成する第 1 の層 (Mg : $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープ Al_{0.2}Ga_{0.8}N) の膜厚を 60 オングストロームとし、第 2 の層 (Mg : $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープ : GaN) の膜厚を 40 オングストロームとし、総膜厚 0.5 μm の超格子構造とする。つまり n 側クラッド層 14 を構成する第 1 の層と第 2 の層のドープ量を同じにして、膜厚を変化させ、p 側クラッド層 19 を構成する第 1 の層と第 2 の層との膜厚を変化させる他は、実施例 9 と同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度 3.4 kA/cm² で、405 nm の連続発振が確認され、閾値電圧は 5.2 V、寿命も 20 時間以上を示した。

【0100】

[実施例 13]

実施例 11 において、n 側クラッド層 14 を構成する第 2 の層 (GaN) の Si 濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ とする他は実施例 11 と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例 11 とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0101】

[実施例 14]

実施例 11 において、n 側クラッド層 14 を構成する第 2 の層 (GaN) をアンドープとする他は実施例 11 と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例 11 とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0102】

[実施例 15]

実施例 9 において、n 側クラッド層 14 を Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 単一で 0.4 μm 成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり、表 1 の基本構造において、p 側クラッド層 19 のみを実施例 1 のように Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N よりなる第 1 の層、20 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 GaN よりなる第 2 の層 20 オングストロームとからなる総膜厚 0.4 μm の超格子構造とし、さらに、p 側コンタクト層 20 を実施例 1 のように 150 オングストロームの Mg ($2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$) ドープ p 型 GaN としたところ、同じく閾値電流密度 3.4 kA/cm² で、405 nm の連続発振が確認され、閾値電圧は 5.1 V、寿命は 20 時間以上を示した。

【0103】

[実施例 16]

実施例 15 において、p 側クラッド層 19 を構成する超格子層の膜厚を第 1 の層 (Al_{0.2}Ga_{0.8}N) を 60 オングストロームとし、第 2 の層 (GaN) を 40 オングストロームとして積層し、総膜厚 0.5 μm とする他は実施例 14 と同様のレーザ素子を得たところ、閾値電圧は若干上昇する傾向にあったが、寿命は 20 時間以上あった。

【0104】

[実施例 17]

実施例 9 において、p 側クラッド層 19 を Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 単一で 0.4 μm 成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり、表 1 の基本構造において、n 側クラッド層 14 のみを実施例 1 のように Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N よりなる第 1 の層、20 オングストロームと、アンドープの GaN よりなる第 2 の層 20 オングストロームとからなる総膜厚 0.4 μm の超格子構造とし、さらに、p 側コンタクト層 20 を実施例 1 のように 150 オングストロームの Mg ($2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$) ドープ p 型 GaN としたところ、

同じく閾値電流密度 3.5 kA/cm^2 で、 405 nm の連続発振が確認され、閾値電圧は 5.4 V 、寿命は 10 時間以上を示した。

【0105】

[実施例18]

実施例17において、 n 側クラッド層14を構成する超格子層の膜厚を第1の層 ($\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$) を 70 オングストロームとし、第2の層を Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 、 70 オングストロームとして積層し、総膜厚 $0.49 \mu\text{m}$ とする他は実施例17と同様のレーザ素子を得たところ、実施例16に比べて閾値電圧が若干上昇する傾向にあったが、同じく 10 時間以上の寿命を有するレーザ素子が得られた。

10

【0106】

[実施例19]

実施例17において、 n 側クラッド層14を構成する超格子層の膜厚を第1の層 ($\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$) を 60 オングストロームとし、第2の層 (アンドープ GaN) を 40 オングストロームとして積層し、総膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ とする他は実施例16と同様のレーザ素子を得たところ、実施例17に比べて閾値電圧が若干上昇する傾向にあったが、同じく 10 時間以上の寿命を有するレーザ素子が得られた。

【0107】

[実施例20]

実施例9において、さらに n 側光ガイド層15をアンドープの GaN よりなる第1の層、 20 オングストロームと、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第2の層、 20 とを積層してなる総膜厚 800 オングストロームの超格子層とする。それに加えて、 p 側光ガイド層18もアンドープの GaN よりなる第1の層、 20 オングストロームと、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第2の層、 20 オングストロームとを積層してなる総膜厚 800 オングストロームの超格子構造とする。つまり、表1の基本構造において、 n 側クラッド層14、 n 側光ガイド層15、 p 側光ガイド層18、及び p 側クラッド層19とを超格子構造とし、さらにまた p 側コンタクト層20を実施例1のように 150 オングストロームの Mg ($2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$) ドープ p 型 GaN としたところ、閾値電流密度 2.9 kA/cm^2 で、 405 nm の連続発振が確認され、閾値電圧は 4.4 V 、寿命も 60 時間以上を示した。

20

30

【0108】

[実施例21]

本実施例は図1のLED素子を元に説明する。実施例1と同様にしてサファイアよりなる基板1の上に GaN よりなるバッファ層2を 200 オングストロームの膜厚で成長させ、次いで Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 GaN よりなるコンタクト層を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させ、次に $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ よりなる膜厚 30 オングストロームの単一量子井戸構造よりなる活性層4を成長させる。

【0109】

(p 側超格子層)

次に、実施例1と同様にして、 Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を 20 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて Mg を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN よりなる第2の層を 20 オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の超格子よりなる p 側クラッド層5を成長させる。この p 側クラッド層4の膜厚も特に限定しないが、 100 オングストローム以上、 $2 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは 500 オングストローム以上、 $1 \mu\text{m}$ 以下で成長させることが望ましい。

40

【0110】

次にこの p 側クラッド層5の上に Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN 層を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。成長後、ウェーハを反応容器から取り出し実施例1と同様にして、アニーリングを行った後、 p 側コンタクト層6側からエッチングを行い n 電極

50

9を形成すべきn側コンタクト層3の表面を露出させる。最上層のp側コンタクト層6のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNi-Auよりなる透光性のp電極7を形成し、その全面電極7の上にAuよりなるpパッド電極8を形成する。露出したn側コンタクト層の表面にもTi-Alよりなるn電極9を形成する。

【0111】

以上のようにして電極を形成したウェーハを350 μ m角のチップに分離してLED素子としたところ、If20mAにおいて520nmの緑色発光を示し、Vfは3.2Vであった。これに対し、p側クラッド層5を単一のMgドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nで構成したLED素子のVfは3.4Vであった。さらに静電耐圧は本実施例の方が2倍以上の静電耐圧を有していた。

10

【0112】

[実施例22]

実施例21において、p側クラッド層5を構成する超格子層を、第1の層の膜厚を50オングストロームとし、第2の層をMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたGaN、50オングストロームとして、それぞれ25層積層し、総膜厚0.25 μ mの超格子とする他は同様にしてLED素子を作成したところ、実施例21とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0113】

[実施例23]

実施例21において、p側クラッド層5を構成する超格子層の厚さを、第1の層100オングストローム、第2の層を70オングストロームの膜厚として、総膜厚0.25 μ mの超格子とする他は同様にしてLED素子を作成したところ、Vfは3.4Vであったが、静電耐圧は従来のものよりも20%以上優れていた。

20

【0114】

[実施例24]

実施例21において、n側コンタクト層3を成長させる際、Siを $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1の層を60オングストローム、アンドープのGaNよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させ、それぞれ第1の層を500層、第2の層を500層交互に積層し、総膜厚5 μ mの超格子とする。その他は実施例12と同様にしてLED素子を作製したところ、同じくIf20mAにおいて、Vfは3.1Vに低下し、静電耐圧は従来に比較比較して2.5倍以上に向上した。

30

【0115】

[実施例25]

実施例23において、p側クラッド層5を構成する超格子の第1の層(Al_{0.2}Ga_{0.8}N)の膜厚を60オングストロームとし、第2の層の膜厚を40オングストロームとして、それぞれ25層交互に積層して、総膜厚0.3 μ mとする他は同様の構造を有するLED素子を作製したところ、Vfは3.2Vで、静電耐圧は従来の2倍以上であった。

【0116】

[実施例26]

本実施例は図4に示すレーザ素子を基に説明する。図4も、図2と同様にレーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の断面図であるが、図2と異なるところは、基板10にGaNよりなる基板101を用いているところと、第2のバッファ層112を成長させずに、n型不純物をドープした第3のバッファ層113を成長させているところにある。この図4に示すレーザ素子は以下の方法によって得られる。

40

【0117】

まずサファイア基板上にMOVPE法、若しくはHVPE法を用いて、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaN層を厚さ300 μ mで成長させた後、サファイア基板を除去して厚さ300 μ mのSiドープGaN基板101を作製する。GaN基板101は、このように窒化物半導体と異なる基板の上に、例えば100 μ m以上の膜厚で成長させた後

50

、その異種基板を除去することによって得られる。Ga N基板101はアンドープでも良いし、またn型不純物をドーピングして作製しても良い。n型不純物をドーピングする場合には通常 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲で不純物をドーピングすると結晶性の良いGa N基板が得られる。

【0118】

Ga N基板101作製後、温度を 1050°C にして、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga Nよりなる第3のバッファ層113を $3 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。なお第3のバッファ層113は図1、図2においてn側コンタクト層14に相当する層であるが、電極を形成する層ではないので、ここではコンタクト層とは言わず、第3のバッファ層113という。なおGa N基板101と第3のバッファ層113との間に、実施例1と同様に低温で成長させる第1のバッファ層を成長させても良いが、第1のバッファ層を成長させる場合には、300オングストローム以下にすることが望ましい。

10

【0119】

次に第3のバッファ層113の上に、実施例1と同様にSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。

次に、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたGa Nよりなる第2の層20オングストロームとを100回交互に積層した、総膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の超格子層よりなるn側クラッド層14を成長させる。

20

次に実施例1と同様に、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga Nよりなるn側光ガイド層15を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0120】

次に、アンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層、25オングストロームと、アンドープGa Nよりなる障壁層50オングストロームとを成長させ、交互に2回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層16を成長させる。

【0121】

次に、実施例1と同様に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるp側キャップ層17を300オングストロームの膜厚で成長させ、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga Nよりなるp側光ガイド層18を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

30

【0122】

次に実施例1と同様にして、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga Nよりなる第2の層、20オングストロームよりなる、総膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層19を形成し、最後に、p側クラッド層19の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga Nよりなるp側コンタクト層20を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0123】

反応終了後、 700°C でアニーリングした後、実施例1と同様に、RIE装置により最上層のp側コンタクト層20と、p側クラッド層19とをエッチングして、 $4 \mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

40

【0124】

次に、実施例1と同じくp側コンタクト層20のストライプリッジ最表面のほぼ全面にNiとAuよりなるp電極21を形成し、Ga N基板101の裏面のほぼ全面に、TiとAlよりなるn電極23を形成する。

【0125】

次に、図4に示すようにp電極21の面積を除く、p側クラッド層19の SiO_2 よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介して、p電極21と電氣的に接続したpパ

50

ッド電極 22 を形成する。

【0126】

電極形成後、p 電極 21 に垂直な方向で GaN 基板 101 をバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。なお GaN 基板の劈開面は M 面とする。劈開面に SiO₂ と TiO₂ 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、バーを切断して図 4 に示すレーザチップとした。次にチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）でヒートシンクに設置し、p パッド電極 22 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、閾値電流密度 2.5 kA/cm²、閾値電圧 4.0 V で、発振波長 405 nm の連続発振が確認され、500 時間以上の寿命を示した。これは基板に GaN を使用したことにより、結晶欠陥の広がりが少なくなったことによる。

10

【0127】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明に係る窒化物半導体素子は、活性層以外の p 型窒化物半導体領域又は n 型窒化物半導体領域において、超格子層を用いて構成しているので、電力効率を極めて良くすることができる。

すなわち、従来の窒化物半導体素子では、活性層を多重量子井戸構造とすることは提案されていたが、活性層を挟む、例えばクラッド層等は単一の窒化物半導体層で構成されているのが通常であった。しかし、本発明の窒化物半導体素子では量子効果が出現するような層を有する超格子層をクラッド層、若しくは電流を注入するコンタクト層として設けているため、クラッド層側の抵抗率を低くすることができる。これによって、例えば LD 素子の閾値電流、閾値電圧を低くでき、該素子を長寿命とすることができる。さらに従来の LED は静電気に弱かったが、本発明では静電耐圧に強い素子を実現できる。このように Vf、閾値電圧が低くできるので、発熱量も少なくなり、該素子の信頼性も向上させることができる。本発明の窒化物半導体素子によれば、LED、LD 等の発光素子はもちろんのこと、窒化物半導体を用いた太陽電池、光センサー、トランジスタ等に利用すると非常の効率の高いデバイスを実現することが可能となりその産業上の利用価値は非常に大きい。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る実施形態 1 の窒化物半導体素子（LED 素子）の構成を示す模式断面図である。

30

【図 2】 本発明に係る実施形態 2 の窒化物半導体素子（LD 素子）の構成を示す模式断面図である。

【図 3】 本発明に係る実施例 1 の LD 素子における p 側コンタクト層の膜厚と、閾値電圧との関係を示すグラフである。

【図 4】 本発明に係る実施例 26 の LD 素子の模式断面図である。

【符号の説明】

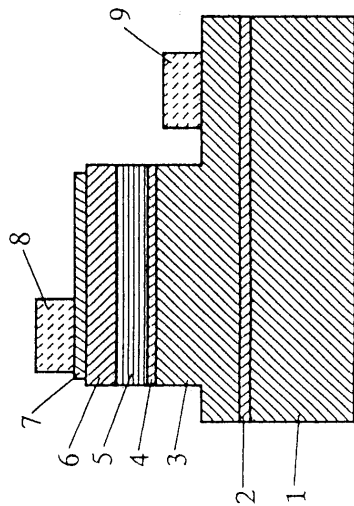
- 1、10・・・基板、
- 2、11・・・バッファ層、
- 3、12・・・n 側コンタクト層、
- 13・・・クラック防止層、
- 14・・・n 側クラッド層（超格子層）、
- 15・・・n 側光ガイド層、
- 4、16・・・活性層、
- 17・・・キャップ層、
- 18・・・p 側光ガイド層、
- 5、19・・・p 側クラッド層（超格子層）、
- 6、20・・・p 側コンタクト層、
- 7、21・・・p 電極、
- 8、22・・・p パッド電極、

40

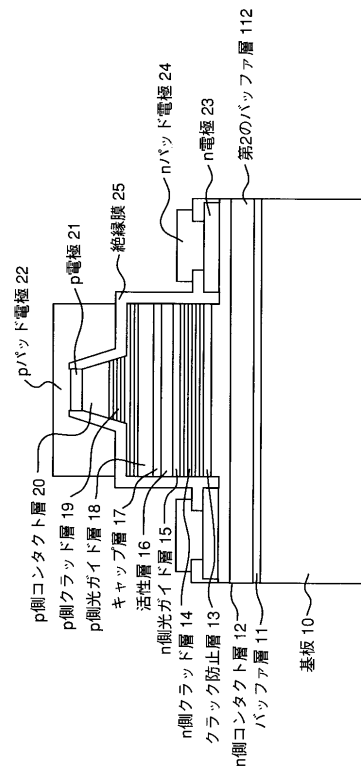
50

9、23・・・n電極、
 24・・・nパッド電極、
 25・・・絶縁膜、
 101・・・GaN基板、
 112・・・第2のバッファ層、
 113・・・第3のバッファ層。

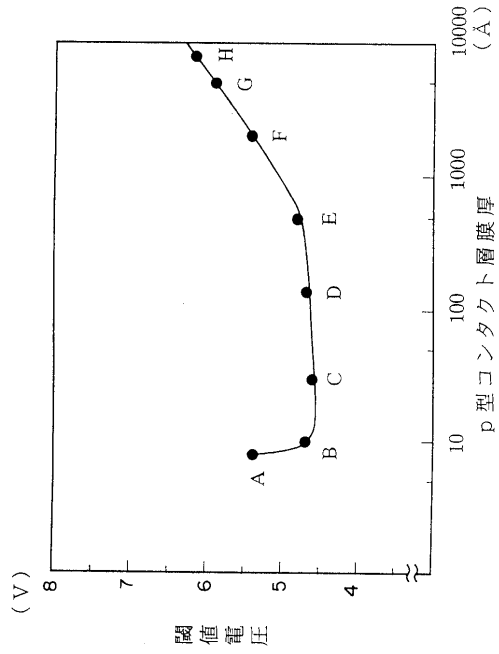
【図1】



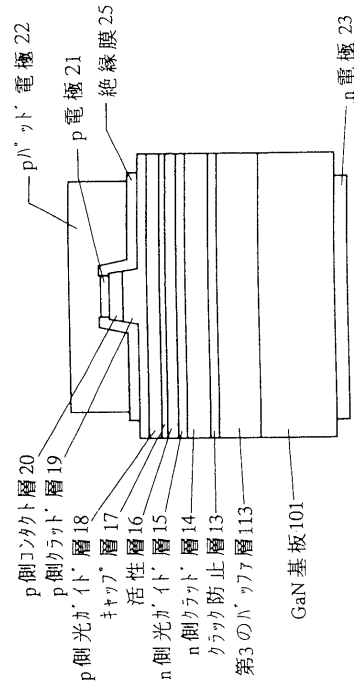
【図2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平9-102793

(32)優先日 平成9年4月3日(1997.4.3)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

(72)発明者 中村 修二

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

合議体

審判長 吉野 公夫

審判官 右田 昌士

審判官 田部 元史

(56)参考文献 特開平7-302929(JP, A)

特開平8-70139(JP, A)

特開平3-34536(JP, A)

特開平8-162481(JP, A)

特開平8-78729(JP, A)

特開平7-38203(JP, A)

特開平8-264876(JP, A)

特開平8-88444(JP, A)

特開平10-93194(JP, A)

特開平9-293935(JP, A)

特開平8-213651(JP, A)

特開平7-202346(JP, A)

特開平8-264833(JP, A)

特開平3-203388(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L33/00

H01S 5/343