

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3969989号

(P3969989)

(45) 発行日 平成19年9月5日(2007.9.5)

(24) 登録日 平成19年6月15日(2007.6.15)

(51) Int. Cl.

H01S 5/343 (2006.01)

F I

H01S 5/343 G10

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2001-312559 (P2001-312559)	(73) 特許権者	000001889
(22) 出願日	平成13年10月10日(2001.10.10)		三洋電機株式会社
(65) 公開番号	特開2003-124575 (P2003-124575A)		大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(43) 公開日	平成15年4月25日(2003.4.25)	(74) 代理人	100098305
審査請求日	平成16年6月1日(2004.6.1)		弁理士 福島 祥人
		(72) 発明者	畑 雅幸
			大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
		審査官	松崎 義邦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化物系半導体素子およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

単結晶の窒化物系半導体からなる第1の層と、

単結晶の窒化物系半導体からなる第1クラッド層と、

前記第1の層の格子定数よりも大きい格子定数を有する単結晶窒化物系半導体を含む発光層とがこの順で形成された窒化物系半導体素子であって、

前記第1の層と前記第1クラッド層との間に、前記第1の層のIn組成と前記第1クラッド層のIn組成との中間のIn組成を有し、かつ、少なくとも一部が非単結晶の窒化物系半導体からなる第2クラッド層が形成されており、

前記第2クラッド層は、前記第1の層の格子定数よりも大きくかつ前記発光層の前記単結晶窒化物系半導体の格子定数よりも小さい格子定数を有する1または複数の層を含むことを特徴とする窒化物系半導体素子。 10

【請求項2】

前記発光層は、前記単結晶窒化物系半導体からなる層を1または複数含むことを特徴とする請求項1記載の窒化物系半導体素子。

【請求項3】

前記第2クラッド層は、非単結晶の窒化物系半導体からなる非単結晶層と、単結晶の窒化物系半導体からなる単結晶層とを含み、前記非単結晶層と前記単結晶層とが積層されることを特徴とする請求項1または2記載の窒化物系半導体素子。

【請求項4】

前記第2クラッド層は、非単結晶の窒化物系半導体からなる島状またはストライプ状の非単結晶層と、単結晶の窒化物系半導体からなる単結晶層とを含み、前記単結晶層間または前記単結晶層内に前記非単結晶層が分散配置されたことを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項5】

前記発光層は、前記第2クラッド層よりも小さなバンドギャップを有する層を1または複数含むことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

【請求項6】

前記第1の層は、 $Ga_x In_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) からなり、前記第2クラッド層は、 $Ga_y In_{1-y}N$ ($0 \leq y < 1$) からなり、前記発光層は、 $Ga_z In_{1-z}N$ ($0 \leq z < 1$) からなり、 $Z \leq Y < X$ であることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

10

【請求項7】

前記第2クラッド層中のIn組成は、前記第1の層側から前記第1クラッド層側へ向かって段階的に増加していることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

【請求項8】

前記第2クラッド層中のIn組成は、前記第1の層側から前記第1クラッド層側へ向かって連続的に増加していることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

20

【請求項9】

単結晶の窒化物系半導体からなる第1の層上に、少なくとも一部が非単結晶状態の窒化物系半導体からなる第2クラッド層を形成する工程と、

前記第2クラッド層上に単結晶の窒化物系半導体からなる第1クラッド層を形成する工程と、

前記第1クラッド層上に前記第1の層の格子定数よりも大きい格子定数を有する単結晶の窒化物系半導体を含む発光層を形成する工程とを含み、

前記第2クラッド層は、前記第1の層のIn組成と前記第1クラッド層のIn組成との中間のIn組成を有し、前記第1の層の格子定数よりも大きくかつ前記発光層の前記単結晶窒化物系半導体の格子定数よりも小さい格子定数を有する1または複数の層を含むことを特徴とする窒化物系半導体素子の製造方法。

30

【請求項10】

前記第2クラッド層は、窒化物系半導体が非単結晶状態となる成長温度で成長させることを特徴とする請求項9記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、III族窒化物半導体（以下、窒化物系半導体と呼ぶ）を用いた発光ダイオード素子、半導体レーザ素子等の半導体素子に関する。

【0002】

40

【従来の技術】

近年、GaN等の窒化物系半導体を用いた半導体素子の研究開発が進められている。

【0003】

図9は従来の窒化物系半導体レーザ素子の例を示す模式的な断面図である。図9に示すように、半導体レーザ素子においては、サファイア基板81上にバッファ層82、アンドープGaN層83、n-GaNコンタクト層84、n-AlGaNクラッド層85、n-GaN光ガイド層86、発光層87およびp-GaN光ガイド層88が順に形成されている。p-GaN光ガイド層88の所定幅の領域上にリッジ状にp-GaNクラッド層89が形成されており、このリッジ状のp-AlGaNクラッド層89の側面に電流狭窄層91が形成されている。さらに、p-AlGaNクラッド層89の上面および電流狭窄層9

50

1 上に p-GaN コンタクト層 90 が形成されている。p-GaN コンタクト層 90 から n-GaN コンタクト層 84 までの一部領域が除去されて n-GaN コンタクト層 84 が露出し、メサ形状が形成されている。露出した n-GaN コンタクト層 84 の所定領域上に n 電極 93 が形成され、p-GaN コンタクト層 90 の所定領域上に p 電極 92 が形成されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、半導体レーザ素子または発光ダイオード素子において、黄色や緑色などの青色より波長の長い長波長の光を発光させるためには、In 組成の大きい GaInN 発光層を形成する必要がある。

10

【0005】

しかしながら、In 組成の大きい GaInN 発光層を GaN 層上に形成すると、GaInN 発光層の格子定数と GaN 層の格子定数とが大きく異なるため、良質な GaInN 発光層を形成することが困難である。

【0006】

そこで、GaInN 発光層と GaN 層との間に GaInN 発光層の格子定数と GaN 層の格子定数との中間の格子定数を有する膜厚の大きい GaInN 中間層を形成することが考えられる。

【0007】

しかし、GaN 層の上に膜厚の大きい GaInN 中間層を形成するとクラックや転位が発生しやすくなる。このため、GaInN 中間層上に良好な結晶性を有する GaInN 発光層を形成することは困難である。

20

【0008】

本発明の目的は、単結晶の窒化物系半導体層上にその窒化物系半導体層よりも大きな格子定数を有し、かつ、良好な結晶性を有する能動素子領域が形成された窒化物系半導体素子およびその製造方法を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

第1の発明に係る窒化物系半導体素子は、単結晶の窒化物系半導体からなる第1の層と、第1の層の格子定数よりも大きい格子定数を有する単結晶窒化物系半導体を含む発光層とがこの順で形成された窒化物系半導体素子であって、第1の層と発光層との間に、少なくとも一部が非単結晶の窒化物系半導体からなる第2クラッド層が形成されたものである。

30

【0010】

【0011】

本発明に係る窒化物系半導体素子においては、第2クラッド層の少なくとも一部が非単結晶状態の窒化物系半導体からなる。ここで、非単結晶状態とは非晶質の状態または多結晶の状態から構成されてもよい。特に、多結晶の状態から構成されることが好ましい。

【0012】

この場合、第1の層と発光層との間に少なくとも一部が非単結晶状態の窒化物系半導体からなる第2クラッド層を設けることにより第1の層の格子定数と発光層における格子定数との差により発生する歪みが緩和されるので、第2クラッド層においてはクラックおよび転位の発生が防止される。この場合、第2クラッド層の膜厚を大きくしても第2クラッド層にクラックおよび転位が発生しない。

40

【0013】

したがって、第2クラッド層上に良好な結晶性を有する発光層を形成することが可能となる。

【0014】

第2クラッド層は、第1の層の格子定数よりも大きくかつ発光層の単結晶窒化物系半導体の格子定数よりも小さい格子定数を有してもよい。

50

【0015】

なお、第2クラッド層は、異なる格子定数を有する複数の層から構成されてもよく、等しい格子定数を有する複数の層から構成されてもよい。

【0016】

この場合、第1の層の格子定数と発光層内の層の第2の格子定数との差により発生する歪みが、第2クラッド層により緩和される。それにより、第2クラッド層上に良好な結晶性を有する能動素子領域を形成することが可能となる。

【0017】

発光層は、単結晶窒化物系半導体からなる層を1または複数含んでもよい。

【0018】

なお、発光層は、異なる格子定数を有する複数の単結晶窒化物系半導体の層を含んでもよく、等しい格子定数を有する複数の単結晶窒化物系半導体の層を含んでもよい。

【0019】

また、第2クラッド層は、非単結晶の窒化物系半導体からなる非単結晶層と、単結晶の窒化物系半導体からなる単結晶層とを含み、非単結晶層と単結晶層とが積層された構造を有してもよい。

【0020】

さらに、第2クラッド層は、非単結晶の窒化物系半導体からなる島状またはストライプ状の非単結晶層と、単結晶の窒化物系半導体からなる単結晶層とを含み、単結晶層間または単結晶層内に非単結晶層が分散配置された構造を有してもよい。

【0021】

このような非単結晶を含む第2クラッド層においては、第1の層の格子定数と発光層の格子定数との差により発生する歪みが緩和される。したがって、第2クラッド層においては、クラックおよび転位の発生が防止される。その結果、第2クラッド層上に良好な結晶性を有する発光層を形成することが可能となる。

【0022】

発光層は、第2クラッド層よりも小さなバンドギャップを有する層を1または複数含んでもよい。

【0023】

第1の層は、 $Ga_x In_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) からなり、第2クラッド層は、 $Ga_y In_{1-y}N$ ($0 \leq y < 1$) からなり、能動素子領域は、 $Ga_z In_{1-z}N$ ($0 \leq z < 1$) からなり、 $z \leq y < x$ であってもよい。

【0024】

この場合、 $Ga_y In_{1-y}N$ からなる第2クラッド層は、 $Ga_x In_{1-x}N$ からなる第1の層の格子定数よりも大きく、かつ、 $Ga_z In_{1-z}N$ からなる発光層の層の格子定数よりも小さな格子定数を有する。

【0025】

ここで、 $Ga_x In_{1-x}N$ からなる第1の層上に形成された第2クラッド層は、少なくとも一部が非単結晶状態の $Ga_y In_{1-y}N$ から構成されている。この場合、第2クラッド層を第1の層と発光層との間に設けることにより、第1の層の格子定数と発光層の格子定数との差により発生する歪みが緩和される。それにより、 $Ga_x In_{1-x}N$ からなる第1の層上に形成された $Ga_x In_{1-x}N$ からなる第2クラッド層における、クラックおよび転位の発生を防止することが可能となる。

【0026】

以上のように、第2クラッド層においてクラックおよび転位の発生が防止されることから、第2クラッド層の膜厚および In 組成を大きくすることが可能となる。その結果、第2クラッド層上に In 組成の大きい良好な結晶性を有する $Ga_z In_{1-z}N$ からなる発光層の層を形成することが可能となる。

【0027】

この場合、クラッド層におけるクラックの発生を防止することが可能となり、発光層に

10

20

30

40

50

において良好な結晶性が実現される。

【0028】

例えば、少なくとも一部が非単結晶状態のGaInNからなるクラッド層を有する窒化物系半導体素子においては、クラッド層の膜厚およびIn組成を大きくするとともにクラッド層におけるクラックの発生を防止することが可能となる。それにより、クラッド層上に良好な結晶性を有するIn組成の大きい発光層を形成することができ、長波長の発光を得ることが可能となる。

【0029】

第2の発明に係る窒化物系半導体素子の製造方法は、単結晶の窒化物系半導体からなる第1の層上に、少なくとも一部が非単結晶状態の窒化物系半導体からなる第2クラッド層を形成する工程と、第2クラッド層上に単結晶の窒化物系半導体からなる第1クラッド層を形成する工程と、第1クラッド層上に第1の層の格子定数よりも大きい格子定数を有する単結晶の窒化物系半導体を含む発光層を形成する工程とを含み、第2クラッド層は、第1の層のIn組成と第1クラッド層のIn組成との中間のIn組成を有し、第1の層の格子定数よりも大きくかつ発光層の単結晶窒化物系半導体の格子定数よりも小さい格子定数を有する1または複数の層を含むものである。

10

【0030】

本発明に係る窒化物系半導体素子の製造方法においては、第1の層上に少なくとも一部が非単結晶状態の窒化物系半導体からなる第2クラッド層を形成する。

【0031】

20

この場合、第2クラッド層は少なくとも一部が非単結晶状態の窒化物系半導体からなるため、第1の層と発光層との間に第2クラッド層を設けることにより、第1の層の格子定数と発光層における格子定数との差により発生する歪みが緩和される。それにより、第2クラッド層においてクラックおよび転位の発生が防止される。この場合、第2クラッド層の膜厚を大きくしても第2クラッド層にクラックおよび転位が発生しない。

【0032】

以上のように、上記の窒化物系半導体素子の製造方法によれば、第2クラッド層におけるクラックおよび転位の発生を防止することが可能となるため、第2クラッド層上に形成された発光層において良好な結晶性が実現できる。

【0033】

30

第2クラッド層は、窒化物系半導体が非単結晶状態となる成長温度で成長させてもよい。この場合、第2クラッド層の成長温度を低くすることにより、非単結晶状態の窒化物系半導体からなる第2クラッド層を容易に形成することができる。したがって、この方法によれば、第2クラッド層におけるクラックの発生を容易に防止することができる。

【0034】

【発明の実施の形態】

以下においては、本発明に係る半導体素子の一例として、半導体レーザ素子について説明する。

【0035】

図1は本発明の第1の実施の形態における半導体レーザ素子を示す模式的な斜視図である。

40

【0036】

図1に示すように、サファイア(0001)面基板1上に膜厚15nmのAlGa_{0.3}Nバッファ層2が形成されている。このバッファ層2上に膜厚0.5μmのアンダーエピタキシャル層3、膜厚4μmのn-GaNコンタクト層4、膜厚1μmのn-GaInN第2クラッド層5、膜厚50nmのn-GaInN第1クラッド層6および多重量子井戸(MQW)構造を有するGaInN発光層7が形成されている。

【0037】

さらに、GaInN発光層7上に、膜厚40nmのp-GaInN第1クラッド層8、膜厚20nmのGaInN層と膜厚20nmのGaN層との多層膜からなる膜厚0.3μm

50

mのp-第2クラッド層9が形成されている。

【0038】

また、p-第2クラッド層9上には幅 $2\mu\text{m}$ のストライプ形状の電流通路11を挟んで膜厚 $0.2\mu\text{m}$ のシリコン窒化物からなる電流狭窄層12が形成されている。さらに、電流通路11および電流狭窄層12の上部にはp-キャップ層10が形成されている。また、p-キャップ層10からn-GaInN第2クラッド層5までが幅 $8\mu\text{m}$ のメサ状に形成されており、p-キャップ層10上にp電極13が形成されている。

【0039】

また、n-GaNコンタクト層4の上面はメサエッチングにより露出しており、露出した表面上にn電極14が形成されている。

10

【0040】

本実施の形態の半導体レーザ素子100においては、n-第2クラッド層5が、非単結晶状態のGaInNから形成されている。

【0041】

なお、上記のGaInN発光層7は、膜厚 4nm 程度の $\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{N}$ 障壁層と膜厚 4nm 程度の $\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{N}$ 井戸層とが交互に積層されてなる。この場合、 $\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{N}$ 障壁層は5層であり、 $\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{N}$ 井戸層は4層である。

【0042】

図2～図6は、図1に示す半導体レーザ素子の製造工程を示す模式的な工程断面図である。

20

【0043】

図1の半導体レーザ素子100の作製方法を図2～図6を用いて説明する。

半導体レーザ素子100の作製時には、まず、図2に示すように、基板温度を 600°C に保ち、サファイア(0001)面基板1上にAlGaInNからなるバッファ層2を形成する。次に、基板温度を 1150°C に保ちアンドープGaInNからなるアンドープGaInN層3およびSiドープGaInNからなるn-GaNコンタクト層4を形成する。

【0044】

さらに、基板温度を 600°C に保ち、Siドープ $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$ からなるn-GaInN第2クラッド層5を形成する。その後、基板温度を 880°C に保ち、Siドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ からなるn-GaInN第1クラッド層6を形成する。さらに、基板温度を 850°C に保ち、アンドープ $\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{N}$ からなるGaInN障壁層およびアンドープ $\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{N}$ からなるGaInN井戸層とを交互に積層し、5層のGaInN障壁層および4層のGaInN井戸層の多重量子井戸(MQW)構造を有するGaInN発光層7を形成する。

30

【0045】

最後に基板温度を 880°C に保ち、アンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ からなるp-GaInN第1クラッド層8およびアンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ からなるGaInN層とMgドープGaInNからなるGaInN層との多層膜からなるp-第2クラッド層9を順に成長させる。

【0046】

続いて、図3に示すように、p-第2クラッド層9の全面に、例えばECR(電子サイクロトロン共鳴)プラズマCVD法により、厚さ $0.2\mu\text{m}$ 程度の Si_3N_4 等のシリコン窒化物からなる電流狭窄層12を形成する。次に、フォトリソグラフィおよびBHf(緩衝フッ酸)によるウェットエッチングで、幅 $2\mu\text{m}$ 程度のストライプ状の領域のシリコン窒化物を除去し、p-第2クラッド層9を露出させる。それにより、ストライプ状の電流通路11が形成される。

40

【0047】

次に、図4に示すように、例えば 76Torr の減圧MOVPE法により、電流狭窄層12上およびストライプ状の電流通路11内のp-第2クラッド層9上にp-GaNからなるp-キャップ層10を形成する。この際、p-第2クラッド層9の露出した部分に選択的にp-GaNが成長するように、成長条件を適切に調整する。例えば、基板温度を約

50

100℃上昇させ、 NH_3 の量を約3倍に増加させる。

【0048】

このような条件下で成長を行うと、p-第2クラッド層9の露出した部分にp-GaNが成長し、電流通路11あたる部分が形成される。一方、電流狭窄層12上にはp-GaNは結晶成長しない。引続き結晶成長を継続すると、p-GaNが電流通路11上に成長するとともに、電流通路11上に成長したp-GaNの側面から横方向に結晶成長が開始し、電流狭窄層12上にp-GaNからなるp-キャップ層10が形成される。例えば、電流通路11にあたる部分を中心として幅約8μmでp-キャップ層10が形成される。

【0049】

この結果、p-第2クラッド層9とp-キャップ層10とは幅2μm程度のストライプ状の電流通路11で接続され、p-第2クラッド層9とp-キャップ層10との間に、電流通路11の部分を除いて、厚さ0.2μm程度の Si_3N_4 からなる電流狭窄層12が形成される。p-キャップ層10の最終的な膜厚は、約1μmである。

【0050】

次に、図5に示すように、メタルマスクおよびEB（電子ビーム）蒸着法を用いて、キャップ層10を含む領域に、例えば幅10μm程度のストライプ形状で厚さ3～5μmのNi膜を蒸着する。このNi膜をマスクとして用い、例えば CF_4 をエッチングガスとして用い、反応性イオンエッチング（RIE）法により、n-GaNコンタクト層4が露出するまでp-キャップ層10からn-GaNコンタクト層4までをメサ状にエッチングする。その後、マスクとして用いたNi膜を塩酸等を用いて除去する。

【0051】

さらに、図6に示すように、 Si_3N_4 等の絶縁膜15をECRプラズマCVD法、フォトリソグラフィおよびエッチングによりp-キャップ層10からn-GaNコンタクト層4までの側面および電極形成領域を除いたn-GaNコンタクト層4の上面に形成する。そして、n-GaNコンタクト層4の露出した表面上に、例えばAu/Tiからなるn電極14を形成し、p-キャップ層10上にAu/Pdからなるp電極13を形成する。

【0052】

最後に、例えばへき開により、ストライプ状の電流通路11に沿った方向に共振器長300μmの共振器構造を形成する。それにより、図1の構造を有する半導体レーザ素子100が形成される。

【0053】

なお、半導体レーザ素子100の共振器端面に Si_3N_4 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 等を積層した誘電体多層膜等の端面高反射膜や低反射膜を形成してもよい。

【0054】

各層2～10の組成、膜厚および成長時の基板温度を表1に示す。

【0055】

【表1】

10

20

30

		組成	膜厚 (μm)	基板温度 ($^{\circ}\text{C}$)
バッファ層 2		AlGaIn	0.015	600
アンドープ GaN 層 3		GaN	0.5	1150
n-コンタクト層 4		n-GaN	4	1150
n-第2クラッド層 5		$\text{n-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$	1	600
n-第1クラッド層 6		$\text{n-Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$	0.05	880
発光層 7	アンドープ GaInN 障壁層 (5層)	$\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{N}$	各0.004	850
	アンドープ GaInN 井戸層 (4層)	$\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.7}\text{N}$	各0.004	850
p-第1クラッド層 8		$\text{p-Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$	0.04	880
p-第2クラッド層 9		p-GaN $\text{p-Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$	0.3	880
p-キャップ層 10		p-GaN	1	1150

【0056】

上記の各層2～10は大気圧のMOVPE法（有機金属化学的気相成長法）により成長させる。この場合、原料ガスとして、トリメチルアルミニウム（TMAI）、トリメチルガリウム（TMGa）、トリメチルインジウム（TMIn）、 NH_3 、シランガス（SiH₄）、シクロペンタジエニルマグネシウム（Cp₂Mg）を用いる。ここでは、n型ドーパントとしてSiを用いており、p型ドーパントとしてMgを用いている。

【0057】

表1に示すように、本実施の形態においては、 $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$ からなるn-GaInN第2クラッド層5を600℃と低い基板温度で成長させる。このように成長時の基板温度を低くすることにより、非単結晶状態の $\text{n-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$ が成長する。したがって、形成されたn-GaInN第2クラッド層5は、全体が非単結晶状態の $\text{n-Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$ から構成される。

【0058】

本実施の形態において、n-GaInN第2クラッド層5以外の各層2～4，6～10は、全体が単結晶状態の窒化物系半導体から構成される。

【0059】

なお、上記においては、n-GaInN第2クラッド層5の成長時の基板温度を600℃としているが、n-GaInN第2クラッド層5の成長時の基板温度は600℃に限定されるものではない。n-GaInN第2クラッド層5の成長時の基板温度は、非単結晶状態のGaInNが成長する温度、すなわち500～700℃の範囲内であればよい。

【0060】

この場合の非単結晶状態とは、多結晶状態またはアモルファス状態のことである。なお、多結晶状態とは、結晶の〈0001〉方向が揃っていない部分が存在する結晶状態のことである。これに対して、単結晶状態とは、結晶の〈0001〉方向がほぼ揃っている結

10

20

30

40

50

晶状態のことである。

【0061】

上記のように、 $n\text{-GaInN}$ 第1クラッド層6との間に
 $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5を設ける
 ことにより、 $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5の膜厚を $1\mu\text{m}$ と大きくしてもクラックが
 発生しない。それにより、 $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5上に良好な結晶性を有する
 $n\text{-GaInN}$ 第1クラッド層6および $n\text{-GaInN}$ 発光層7を形成すること
 が可能となる。

10

【0062】

以上のような $n\text{-GaInN}$ 組成が大きくかつ良好な結晶性を有する $n\text{-GaInN}$ 発光層7を有する
 半導体レーザ素子100においては、長波長の発光を得ることが可能となる。

【0063】

なお、上記の $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5は、全体が非単結晶状態の $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$ からなる多結晶
 $n\text{-GaInN}$ 層から構成されているが、多結晶 $n\text{-GaInN}$ 層の
 構造はこれに限定されるものではない。

【0064】

例えば、 $n\text{-GaInN}$ 組成が段階的に増加する多結晶 $n\text{-GaInN}$ 層の多層構造であってもよ
 い。一例として $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5の側から厚みが $0.2\mu\text{m}$ の多結晶 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}$ 、
 厚みが $0.2\mu\text{m}$ の多結晶 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}$ 、厚みが $0.2\mu\text{m}$ の多結晶 $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}$ 、
 厚みが $0.2\mu\text{m}$ の多結晶 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{N}$ 、厚みが $0.2\mu\text{m}$ の多結晶 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ の5層構造であ
 ってもよい。

20

【0065】

あるいは、 $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5の側から $n\text{-GaInN}$ 第1クラッド層6側へ、徐々に
 （連続的に）多結晶 $n\text{-GaInN}$ の $n\text{-GaInN}$ 組成が増加する構造であってもよい。一例として多
 結晶 GaInN から $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ へ徐々に（連続的に） $n\text{-GaInN}$ 組成が増加する構造であ
 ってもよい。

【0066】

本発明の第2の実施の形態における半導体レーザ素子は、図1の $n\text{-GaInN}$ 第2ク
 ラッド層5の代わりに図7に示す構造を有する $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層20が形成
 された点を除いて第1の半導体レーザ素子100と同様の構造を有する。

30

【0067】

図7に示すように、 $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層20は、膜厚 50nm 程度の非単結
 晶状態の $\text{SiドープGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ からなる多結晶 $n\text{-GaInN}$ 層20aと、膜厚 50nm
 程度の単結晶状態の $\text{SiドープGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ からなる単結晶 $n\text{-GaInN}$ 層
 20bとが交互に積層されてなる。例えばこの場合においては、多結晶 $n\text{-GaInN}$ 層
 20aと単結晶 $n\text{-GaInN}$ 層20bとが10周期で積層されている。

【0068】

このように、本実施の形態の $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層20は、全体が非単結晶状
 態の $n\text{-GaInN}$ からなる第1の実施の形態の $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層5とは異なり
 、一部が非単結晶状態の $n\text{-GaInN}$ から構成される。

40

【0069】

本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法は、 $n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層20の
 形成方法のみが第1の実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法と異なる。 $n\text{-GaInN}$
 第2クラッド層20は、以下の方法により形成される。

【0070】

$n\text{-GaInN}$ 第2クラッド層20の形成時には、まず基板温度を 600°C に保ち、膜
 厚 50nm の $\text{SiドープGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{N}$ を成長させる。このように成長時の基板温度を

50

低くすることにより、多結晶状態のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる多結晶n-GaInN層が20aが形成される。

【0071】

次に、基板温度を880℃に保ち、膜厚50nm程度のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nを成長させる。このように成長時の基板温度を高くすることにより、単結晶状態のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる単結晶n-GaInN層が20bが形成される。

【0072】

以上のような多結晶n-GaInN層20aの形成工程および単結晶n-GaInN層20bの形成工程を交互にそれぞれ10回繰り返して行う。それにより、多結晶n-GaInN層20aと単結晶n-GaInN層20bとが10周期積層されてなる膜厚1μmのn-GaInN第2クラッド層20が形成される。

【0073】

上記のように、n-GaNコンタクト層4とn-GaInN第1クラッド層6との間にn-GaNコンタクト層4のIn組成とn-GaInN第1クラッド層6のIn組成との中間のIn組成を有し、かつ、多結晶n-GaInN層20aを含むn-GaInN第2クラッド層20を設けることにより、n-GaNコンタクト層4の格子定数と、n-GaInN第1クラッド層6の格子定数またはGaInN発光層7の格子定数との差により発生する歪が緩和される。この場合、n-GaInN第2クラッド層5の膜厚を1μmと大きくしても、クラックが発生しない。それにより、n-GaInN第2クラッド層5上に良好な結晶性を有するIn組成の大きいn-GaInN第1クラッド層6およびGaInN発光層7を形成することが可能となる。

【0074】

以上のようなIn組成が大きくかつ良好な結晶性を有するGaInN発光層7を有する半導体レーザ素子100においては、長波長の発光を得ることが可能となる。

【0075】

なお、上記のn-GaInN第2クラッド層20は、多結晶n-GaInN層20aと単結晶n-GaInN層20bとがこの順で積層されているが、積層の順序はこれに限定されるものではない。単結晶n-GaInN層20bと多結晶n-GaInN層20aとがこの順で積層されたn-GaInN第2クラッド層を形成した場合においても、上記と同様の効果が得られる。

【0076】

本発明の第3の実施の形態における半導体レーザ素子は、図1のn-GaInN第2クラッド層5の代わりに、図8に示すn-GaInN第2クラッド層21が形成された点を除いて第1の実施の形態の半導体レーザ素子100と同様の構造を有する。

【0077】

図8に示すように、n-GaInN第2クラッド層21は、n-GaNコンタクト層4上に形成された複数のストライプ状の多結晶n-GaInN層21aとこの多結晶n-GaInN層21aの間で露出したn-GaNコンタクト層4上に形成された単結晶n-GaInN層21bとから構成される。

【0078】

この場合、多結晶n-GaInN層21aは、膜厚1μm程度の多結晶状態のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる。また、単結晶n-GaInN層21bは、膜厚1μm程度の単結晶状態のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる。

【0079】

このように、第3の実施の形態においては、n-GaInN第2クラッド層21は、一部が非単結晶状態のGaInNから構成される。

【0080】

このような第3の実施の形態の半導体レーザ素子は、n-GaInN第2クラッド層21の形成方法のみが第1の実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法と異なる。n-GaInN第2クラッド層21は、以下の方法により形成される。

【0081】

n -GaInN第2クラッド層21の形成時には、まず基板温度を600℃に保ち、 n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4上に膜厚1μm程度のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nを成長させる。このように成長時の基板温度を低くすることにより、多結晶状態のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる多結晶 n -GaInN層21aが n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4上に形成される。

【0082】

次に、メタルマスクおよびEB蒸着法とを用いて上記の多結晶 n -GaInN層21aの所定領域上に、例えば幅20μm程度のストライプ形状で厚さが3~5μmのW（タングステン）を蒸着する。このWをマスクとして用いて、例えばCF₄をエッチングガスとして用い、反応性イオンエッチング（RIE）法によりマスクが形成されていない領域の多結晶 n -GaInN層21aをエッチングし、 n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4を露出させる。このようにして、 n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4の所定領域上に、ストライプ形状を有する複数の多結晶 n -GaInN層21aを形成する。

10

【0083】

上記の後、基板温度を1150℃に保ち、ストライプ状の多結晶 n -GaInN層21a間で露出した n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4上に、膜厚1μm程度のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nを選択的に成長させる。このように成長時の基板温度を高くすることにより、多結晶 n -GaInN層21a間で露出した n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4上に全体が単結晶状態のSiドープGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる単結晶 n -GaInN層21bが形成される。

20

【0084】

以上のようにして、多結晶 n -GaInN層21aと単結晶 n -GaInN層21bとから構成される n -GaInN第2クラッド層21を形成する。 n -GaInN第2クラッド層21の表面がほぼ平坦となった後、マスクとして用いたWを塩酸等を用いて除去する。

【0085】

上記のように、 n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4と n -GaInN第1クラッド層6との間に、 n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4のIn組成と n -GaInN第1クラッド層6のIn組成との中間のIn組成を有し、かつ、多結晶 n -GaInN層21aを含む n -GaInN第2クラッド層21を設けることにより、 n -Ga_{0.5}Nコンタクト層4の格子定数と、 n -GaInN第1クラッド層6の格子定数またはGaInN発光層7の格子定数との差により発生する歪が緩和される。この場合、 n -GaInN第2クラッド層5の膜厚を1μmと大きくしても、クラックが発生しない。それにより、 n -GaInN第2クラッド層5上に良好な結晶性を有するIn組成の大きい n -GaInN第1クラッド層6およびGaInN発光層7を順に形成することが可能となる。

30

【0086】

以上のようなIn組成が大きくかつ良好な結晶性を有するGaInN発光層7の半導体レーザ素子100においては、長波長の発光を得ることが可能となる。

【0087】

なお、上記においては、単結晶 n -GaInN層21b間にストライプ状の多結晶 n -GaInN層21aが形成された n -GaInN第2クラッド層21を形成する場合について説明したが、多結晶 n -GaInN層の形状は任意の形状でもよく、例えば単結晶 n -GaInN層に島状の多結晶 n -GaInN層が形成されてなる n -GaInN第2クラッド層を形成してもよい。この場合においても、上記と同様の効果が得られる。

40

【0088】

また、基板の材料はサファイアに限定されるものではなく、スピネルなどの絶縁体基板、Ga_{0.5}N、GaAs、GaPおよびInPなどのIII-V族半導体基板、Si、SiCなどを用いてもよい。あるいは、基板の材料は、MB2（MはAl、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cn等の金属元素）等からなるホウ素化合物基板を用いてもよい。

【0089】

50

さらに、発光層およびクラッド層の材料はGaInNに限定されるものではなく、InN、GaInTlN、GaInNP、GaInAsN等のGaNよりバンドギャップの小さい素子において上記と同様の効果が得られる。加えて、p-コンタクト層は、p-GaNに限定されるものでなくp-GaInNを用いてもよい。

【0090】

本発明は、第1～第3の実施の形態の半導体レーザ素子以外に、面発光型半導体レーザ素子にも適用可能である。また、本発明は半導体レーザ素子以外の半導体素子、すなわち発光ダイオード素子等にも適用可能である。

【0091】

なお、第1～第3の実施の形態の半導体素子においては、基板上に先にn型層を形成しているが、基板上にp型層を先に形成してもよい。 10

【0092】

また、上記の第1～第3の実施の形態の半導体素子の各層は、上記以外の結晶成長方法でも成長が可能である。例えば、HVPE法（ハライド気相エピタキシャル成長法）や、TMAl、TMGa、TMIn、NH₃、SiH₄、Cp₂Mgを原料ガスとして用いるガスソースMBE法（分子線エピタキシャル成長法）によっても成長可能である。また、各層を構成する半導体の結晶構造はウルツ鉱型構造であってもよく、あるいは閃亜鉛鉱型構造であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態における半導体レーザ素子を示す模式的な斜視図である。 20

【図2】 図1の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的な工程断面図である。

【図3】 図1の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的な工程断面図である。

【図4】 図1の半導体レーザ素子の製造工程を示す模式的な工程断面図である。

【図5】 図1の半導体レーザ素子の製造工程を示す模式的な工程断面図である。

【図6】 図1の半導体レーザ素子の製造工程を示す模式的な工程断面図である。

【図7】 本発明の第2の実施の形態における半導体レーザ素子の一部を示す模式的な断面図である。

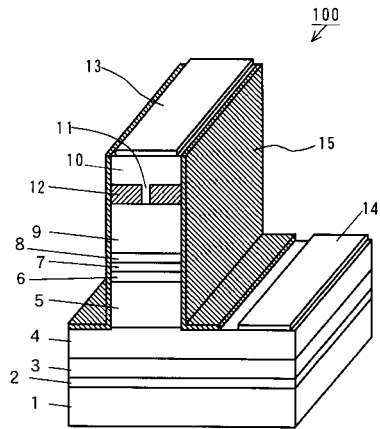
【図8】 本発明の第3の実施の形態における半導体レーザ素子の一部を示す模式的な断面図である。 30

【図9】 従来の半導体レーザ素子を示す模式的な断面図である。

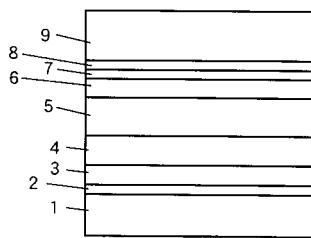
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 バッファ層
- 3 アンドープGaN層
- 4 n-GaNコンタクト層
- 5 n-GaInN第2クラッド層
- 6 n-GaInN第1クラッド層
- 7 GaInN発光層
- 8 p-GaInN第1クラッド層
- 9 p-GaInN第2クラッド層
- 10 p-GaNキャップ層
- 11 電流通路
- 12 電流狭窄層
- 13 p電極
- 14 n電極
- 15 絶縁膜
- 100 半導体レーザ素子

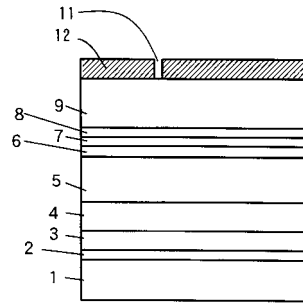
【図 1】



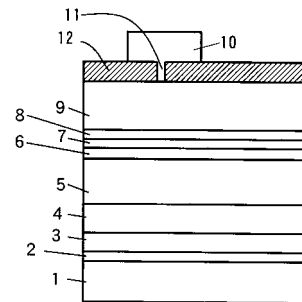
【図 2】



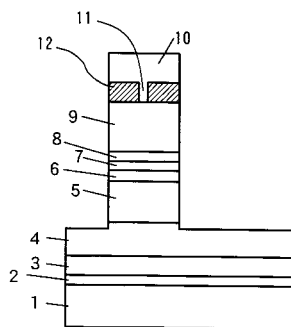
【図 3】



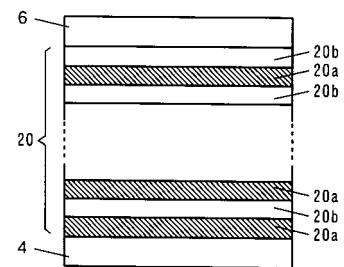
【図 4】



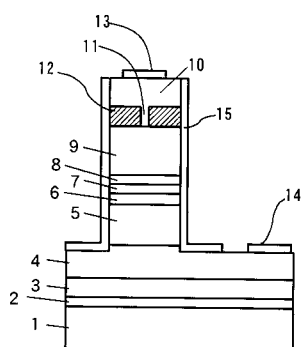
【図 5】



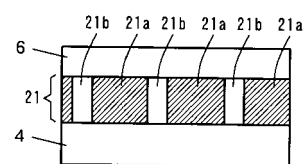
【図 7】



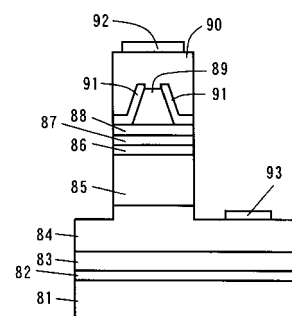
【図 6】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-274095 (JP, A)
特開2001-237457 (JP, A)
特開平11-224958 (JP, A)
特開平09-055560 (JP, A)
特開平09-036430 (JP, A)
特開平11-074621 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S5/00-5/50