

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-130316

(P2009-130316A)

(43) 公開日 平成21年6月11日(2009.6.11)

(51) Int.Cl.
H01S 5/22 (2006.01)F I
H01S 5/22テーマコード (参考)
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2007-306929 (P2007-306929)
(22) 出願日 平成19年11月28日 (2007.11.28)(71) 出願人 000005821
パナソニック株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(74) 代理人 100077931
弁理士 前田 弘
(74) 代理人 100110939
弁理士 竹内 宏
(74) 代理人 100110940
弁理士 嶋田 高久
(74) 代理人 100113262
弁理士 竹内 祐二
(74) 代理人 100115059
弁理士 今江 克実
(74) 代理人 100115691
弁理士 藤田 篤史

最終頁に続く

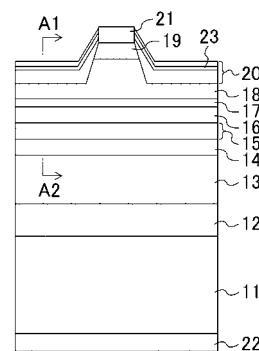
(54) 【発明の名称】 窒化物半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 p型窒化物半導体層に残留する水素を低減することにより、高出力で且つ長寿命の窒化物半導体装置を得る。

【解決手段】 窒化物半導体装置は、半導体基板 1 1 と、半導体基板 1 1 の上または上方に形成され、窒化物半導体からなり、第 1 の不純物を含む p 型半導体層と、 p 型半導体層に接し、水素を捕獲する第 2 の不純物を含む不純物領域 2 3 を有する絶縁膜 2 0 とを備えている。 p 型半導体層内に残留する水素を不純物領域 2 3 が捕獲するため、不純物領域 2 3 の水素濃度は絶縁膜 2 0 のうち不純物領域 2 3 を除く部分よりも高くなっている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

半導体基板と、

前記半導体基板の上または上方に形成され、窒化物半導体からなり、第 1 の不純物を含む p 型半導体層と、

前記 p 型半導体層に接し、水素を捕獲する第 2 の不純物を含む不純物領域を有する絶縁膜とを備えている窒化物半導体装置。

【請求項 2】

前記不純物領域の水素濃度は、前記絶縁膜のうち前記不純物領域以外の部分の水素濃度よりも高いことを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体装置。

10

【請求項 3】

前記半導体基板は n 型の窒化物半導体からなり、

前記窒化物半導体装置は、

前記半導体基板上に設けられ、窒化物半導体からなる n 型半導体層と、

前記 n 型半導体層の上で且つ前記 p 型半導体層の下に設けられ、動作時に光を生成する活性層とをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の窒化物半導体装置。

【請求項 4】

前記 n 型半導体層は、前記活性層の下に設けられた n 型クラッド層を有しており、

前記 p 型半導体層は、前記活性層の上に設けられた p 型クラッド層を有しており、

20

前記窒化物半導体装置は、

前記 p 型クラッド層の上に設けられたコンタクト層と、

前記コンタクト層の上に設けられた p 側電極と、

前記半導体基板の裏面上に設けられた n 側電極とをさらに備えていることを特徴とする請求項 3 に記載の窒化物半導体装置。

【請求項 5】

前記絶縁膜は少なくとも前記 p 型半導体層の上面上に設けられていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

【請求項 6】

前記 p 型半導体層の上部にはストライプ状のリッジ部が形成されており、

30

前記絶縁膜は、前記 p 型半導体層のうち前記リッジ部の側方部分上から前記リッジ部の側面上にわたって設けられていることを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物半導体装置。

【請求項 7】

前記絶縁膜は少なくとも前記 p 型半導体層の端面に設けられていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

【請求項 8】

前記不純物領域は、少なくとも前記 p 型半導体層と前記絶縁膜との界面を挟んで前記絶縁膜および前記 p 型半導体層内に所定の厚さで設けられていることを特徴とする請求項 7 に記載の窒化物半導体装置。

【請求項 9】

40

前記絶縁膜は複数の絶縁膜で構成されており、

前記不純物領域は、前記複数の絶縁膜の少なくとも 1 つの界面を挟んで設けられていることを特徴とする請求項 7 に記載の窒化物半導体装置。

【請求項 10】

前記第 2 の不純物は、前記第 1 の不純物と比べて水素原子との結合エンタルピーが大きいことを特徴とする請求項 1 ~ 9 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

【請求項 11】

前記第 2 の不純物は、前記絶縁膜中で微粒子状で存在することを特徴とする請求項 1 ~ 10 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

【請求項 12】

50

前記第 2 の不純物はフッ素であることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

【請求項 13】

前記不純物領域における前記第 2 の不純物の濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上で且つ $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項 12 に記載の窒化物半導体装置。

【請求項 14】

前記第 1 の不純物と前記第 2 の不純物とは互いに異なる物質であることを特徴とする請求項 1 ~ 13 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

【請求項 15】

前記絶縁膜は、 SiO_2 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 、 Al_2O_3 のうちいずれか 1 つを構成材料として含んでいることを特徴とする請求項 1 ~ 14 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置。

10

【請求項 16】

n 型半導体基板の上面上に窒化物半導体からなる n 型半導体層、活性層、第 1 の不純物を含む窒化物半導体からなる p 型半導体層を順次堆積する工程 (a) と、

前記 p 型窒化物半導体層上に、水素を捕獲する第 2 の不純物を含む不純物領域を有する第 1 の絶縁膜を形成する工程 (b) とを備えている窒化物半導体装置の製造方法。

【請求項 17】

前記工程 (b) は、

前記 p 型半導体層上に絶縁膜を堆積する工程 (b1) と、

20

前記工程 (b1) で堆積した絶縁膜上に第 2 の不純物を塗布する工程 (b2) と、

熱 CVD 法により、前記第 2 の不純物を挟んで絶縁膜をさらに堆積するとともに、前記第 2 の不純物を絶縁膜内に拡散させて前記不純物領域を形成する工程 (b3) とを含んでいることを特徴とする請求項 16 に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

【請求項 18】

前記工程 (b) は、

前記 p 型半導体層上に前記第 1 の絶縁膜を堆積する工程 (b4) と、

イオン注入により前記第 2 の不純物を前記第 1 の絶縁膜に導入する工程 (b5) と、

熱処理により前記第 2 の不純物を拡散させて前記不純物領域を形成する工程 (b6) とを含んでいることを特徴とする請求項 16 に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

30

【請求項 19】

前記第 2 の不純物は、前記第 1 の不純物と比べて水素原子との結合エンタルピーが大きいことを特徴とする請求項 16 ~ 18 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置の製造方法。

【請求項 20】

前記工程 (a) の後で前記工程 (b) の前に、前記 p 型半導体層の上部の一部を除去することによりストライプ状のリッジ部を形成する工程 (c) をさらに備え、

前記工程 (b) で、前記第 1 の絶縁膜は前記リッジ部の側面上から前記 p 型半導体層のうち前記リッジ部の側方に位置する部分上にわたって形成されることを特徴とする請求項 16 ~ 19 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置の製造方法。

40

【請求項 21】

前記工程 (b) の後、少なくとも前記 p 型半導体層の端面上に、前記第 2 の不純物を含む第 2 の不純物領域を有する第 2 の絶縁膜を形成する工程 (d) をさらに備えていることを特徴とする請求項 16 ~ 20 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置の製造方法。

【請求項 22】

n 型半導体基板の上面上に窒化物半導体からなる n 型半導体層、活性層、第 1 の不純物を含む窒化物半導体からなる p 型半導体層を順次堆積する工程 (a) と、

少なくとも前記 p 型半導体層の端面上に、水素を捕獲する第 2 の不純物を含む不純物領域を有する絶縁膜を形成する工程 (b) とを備えている窒化物半導体装置の製造方法。

50

【請求項 2 3】

前記工程 (b) は、

前記 p 型半導体層の端面に前記第 2 の不純物を塗布する工程 (b 1) と、

前記 p 型半導体層の端面上に前記第 2 の不純物を挟んで前記絶縁膜を形成する工程 (b 2) と、

熱処理により前記第 2 の不純物を前記絶縁膜内および前記 p 型半導体層内に拡散させて前記不純物領域を形成する工程 (c) とを備えている請求項 2 2 に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

【請求項 2 4】

前記工程 (b) で形成される前記絶縁膜は、複数の絶縁膜で構成されており、前記不純物領域は前記複数の絶縁膜の界面の少なくとも 1 つを挟む 2 つの絶縁膜内にわたって形成されることを特徴とする請求項 2 2 に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

【請求項 2 5】

前記第 2 の不純物は、前記第 1 の不純物と比べて水素原子との結合エンタルピーが大きいことを特徴とする請求項 2 2 ~ 2 4 のうちいずれか 1 つに記載の窒化物半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、レーザダイオード (L D) や発光ダイオード (L E D) などの発光デバイス、フォトダイオードなどの受光デバイス、トランジスタなどの電子デバイスなどの窒化物半導体装置に関するものであり、特に、p 型層を有する窒化物半導体装置に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

レーザダイオードや発光ダイオードなどの発光デバイスの構成材料として、従来から窒化物半導体が用いられている。

【0003】

図 1 1 は、特許文献 1 に記載されている、レーザ装置として機能する従来の窒化物半導体の断面図である。同図に示すように、従来の半導体装置は、n 型 G a N 基板 1 0 2 の上表面上に下から順に n 型 G a N 層 1 0 3、n 型 A l G a N からなる n 型クラッド層 1 0 4、n 型 G a N からなる n 型光ガイド層 1 0 5、I n G a N からなる多重量子井戸層 1 0 6、p 型 A l G a N からなる電子ブロック層 1 0 7、p 型 G a N からなる p 型光ガイド層 1 0 8、p 型 A l G a N からなる p 型クラッド層 1 0 9、p 型 G a N からなるコンタクト層 1 1 0 が形成されている。p 型クラッド層 1 0 9 の上部およびコンタクト層 1 1 0 はリッジ部を構成しており、コンタクト層 1 1 0 上には p 側電極 1 1 1 が形成されている。また、n 型 G a N 基板 1 0 2 の裏面 (N 終端面 1 0 2 A) 上には n 側電極 1 0 1 が形成されている。

【0004】

従来の半導体装置を製造する際には、まず n 型 G a N 基板 1 0 2 上に、有機金属気相成長 (M O C V D) 法を用い、水素キャリアガスを用いて 1 0 5 0 の成長温度で n 型 G a N 層 1 0 3、n 型クラッド層 1 0 4、n 型光ガイド層 1 0 5 を順次成長する。引き続き、キャリアガスを窒素に切り替え、基板温度を 7 0 0 に設定し、多重量子井戸層 1 0 6 を成長する。さらに、再びキャリアガスを水素ガスに切り替え、基板温度を 1 0 5 0 に設定し、電子ブロック層 1 0 7、p 型光ガイド層 1 0 8、p 型クラッド層 1 0 9、コンタクト層 1 1 0 を順次成長する。

【0005】

次に、ドライエッチング装置を用いたエッチングにより p 型クラッド層 1 0 9 と p 型 G a N コンタクト層 1 1 0 とが 5 μ m 幅のストライプ状に残され、リッジ型の光導波路が形成される。次いで、コンタクト層 1 1 0 上に p 側電極 1 1 1 を形成し、n 型 G a N 基板 1

10

20

30

40

50

02のN終端面102A上にn側電極101を形成する。最後に、リッジ型の光導波路の長さが1mmとなるようにへき開を行い、誘電体などをへき開面に堆積し、ミラーとなる端面を形成して半導体レーザが完成する。

【0006】

通常、MOCVD法によって成長されたp型の窒化物半導体は、アクセプタ濃度とほぼ同じ濃度の水素原子を含む。この水素原子は、正孔の生成を妨げるため、成長直後のp型層は高抵抗である。そのため、MOCVD法による成長の後、p型層を低抵抗化するための処理を実施する。このような処理は活性化処理と呼ばれる。

【0007】

p型層の活性化処理としては、特許文献2に示されるような400以上の温度でアニールを行う方法が知られている。また、特許文献3には、半導体のバンドギャップを上回るエネルギーの光を照射することによってp型層の活性化を促進させ、p型GaNと金属とのコンタクト抵抗を改善する技術が示されている。

【特許文献1】特開2001-148357号公報

【特許文献2】特開平5-183189号公報

【特許文献3】特開平11-126758号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、前記従来の窒化物半導体装置では、前述した活性化処理の後でも 10^{17} cm^{-3} 台から 10^{18} cm^{-3} 台程度の水素がp型層に残留するという不具合がある。この残留水素はアクセプタの活性化率を低下させ、p型層の抵抗やp型層とp側電極との間のコンタクト抵抗を上昇させるので、動作電圧を上昇させる原因となる。また、半導体レーザ装置又はLED等のpn接合を有する半導体装置においては、p型層におけるアクセプタの活性化率が低下すると、電子のオーバーフローが増加して、動作電流が増加してしまうという不具合も生じる。

【0009】

以上のような、動作電圧の上昇及び動作電流の上昇は、窒化物半導体装置の性能や信頼性に影響を及ぼし、所望の光出力や寿命が得られないという不具合を生じる。

【0010】

このような不具合に対し、残留水素濃度を低下させるために、活性化処理の時間を長くしたり、活性化処理の温度を高くしたりする方法を行うと、活性層などに窒素空孔などの欠陥が生じて、かえってp型層の正孔濃度が低下し、動作電圧の上昇や動作電流の上昇を招く。すなわち、従来の活性化処理方法によって残留水素を完全に除去することは極めて困難である。

【0011】

このように、従来の窒化物半導体装置では、活性化処理後に残留している水素が半導体装置の性能及び信頼性に重大な影響を及ぼしており、窒化物半導体装置の高出力化及び長寿命化の妨げとなっている。

【0012】

本発明は、前記従来の課題に鑑み、p型窒化物半導体層に残留する水素を低減し、高出力で且つ長寿命の窒化物半導体装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

前記の目的を達成するため、本発明の窒化物半導体装置は、半導体基板と、前記半導体基板の上または上方に形成され、窒化物半導体からなり、第1の不純物を含むp型半導体層と、前記p型半導体層に接し、水素を捕獲する第2の不純物を含む不純物領域を有する絶縁膜とを備えている。

【0014】

この構成によれば、不純物領域中の第2の不純物がp型半導体層に含まれる水素を捕獲

10

20

30

40

50

するので、p型半導体層の形成時に混入する水素を不純物領域に移動させることができるので、p型半導体層中のアクセプタの活性化率の低下を効果的に抑えることができる。このため、動作電圧や動作電流の上昇を抑え、高出力化および長寿命化を図ることができる。なお、不純物領域は水素を捕獲するため、絶縁膜の他の部分よりも高い濃度で水素を含むことになる。

【0015】

本発明の窒化物半導体装置は、例えば半導体レーザ装置やLEDなどであることが好ましいが、これ以外のデバイスであってもアクセプタの活性化効率の低下を抑えることができるため、装置の劣化等を抑えることができる。

【0016】

本発明の第1の窒化物半導体装置の製造方法は、n型半導体基板の上面上に窒化物半導体からなるn型半導体層、活性層、第1の不純物を含む窒化物半導体からなるp型半導体層を順次堆積する工程(a)と、前記p型窒化物半導体層上に、水素を捕獲する第2の不純物を含む不純物領域を有する第1の絶縁膜を形成する工程(b)とを備えている。

【0017】

この方法によれば、水素を捕獲する不純物領域をp型半導体層に接する絶縁膜内に形成するので、p型半導体層の形成時に混入する水素を不純物領域に移動させることができる。そのため、p型半導体層の水素濃度を低下させ、アクセプタの活性化効率の低下を防ぐことができる。このため、出力の低下を抑え、且つ装置の長寿命化を図ることができる。また、従来の方法に比べてp型半導体層内の水素濃度をより低レベルにすることができる上、p型半導体層を高温にする必要がないので、活性層などに結晶欠陥が生じるのを防ぐことができる。これにより、水素原子が不純物領域に、より効果的にゲッタリングされるため、高出力で且つ長寿命の窒化物半導体装置をより確実に得ることができる。

【0018】

なお、第2の不純物と水素原子との結合エンタルピーが、第1の不純物と水素原子との結合エンタルピーよりも大きいことが好ましい。

【0019】

本発明の第2の窒化物半導体装置の製造方法は、n型半導体基板の上面上に窒化物半導体からなるn型半導体層、活性層、第1の不純物を含む窒化物半導体からなるp型半導体層を順次堆積する工程(a)と、少なくとも前記p型半導体層の端面上に、水素を捕獲する第2の不純物を含む不純物領域を有する絶縁膜を形成する工程(b)とを備えている。

【0020】

この方法によっても、第1の窒化物半導体装置の製造方法と同様に、p型半導体層内に残留する水素濃度を効果的に減らすことができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明に係る窒化物半導体装置及びその製造方法によれば、p型窒化物半導体層に残留する水素の濃度を低減することができるため、高出力で且つ長寿命の窒化物半導体装置を得ることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態に係る窒化物半導体装置について図面を参照しながら説明する。

【0023】

図1は、本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザ装置(窒化物半導体装置)の断面構成を示す図である。同図に示すように、本実施形態の半導体レーザ装置では、n型Ga_{0.5}N基板11の上面上に下から順にn型Ga_{0.5}N層12、n型Al_{0.5}Ga_{0.5}Nからなるn型クラッド層13、n型Ga_{0.5}Nからなるn型光ガイド層14、InGa_{0.5}Nからなる多重量子井戸活性層15、p型Ga_{0.5}Nからなるp型光ガイド層16、p型Al_{0.5}Ga_{0.5}Nからなる電子ブロッ

10

20

30

40

50

ク層 17、p 型クラッド層 18、p 型 GaN からなるコンタクト層 19 が形成されている。なお、p 型光ガイド層 16 と電子ブロック層 17 の位置を入れ替えても半導体レーザ装置としての動作には影響しない。

【0024】

p 型クラッド層 18 の上部およびコンタクト層 19 はリッジ導波路を構成しており、コンタクト層 19 上には p 側電極 21 が形成されている。絶縁膜 20 は、p 型クラッド層 18 のうちリッジ導波路の側方に位置する部分上からリッジ導波路の側面上にかけて設けられており、絶縁膜 20 内には不純物領域 23 が形成されている。また、n 型 GaN 基板 11 の裏面 (N 終端面) 上には n 側電極 22 が形成されている。n 型 GaN 基板 11 の上面は、面方位が (0001) 面で且つガリウム (Ga) 面である。

10

【0025】

ここで、n 型 GaN 層 12 は、厚さが $1\text{ }\mu\text{m}$ で n 型ドーパントであるシリコン (Si) の濃度が $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ である。n 型 AlGaIn からなる n 型クラッド層 13 は、Al 組成比 (Al 原子の組成比) が 5% であり、厚さが $1.5\text{ }\mu\text{m}$ で且つ Si 濃度が $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ である。n 型 GaN からなる n 型光ガイド層 14 は、厚さが $0.1\text{ }\mu\text{m}$ で、Si の濃度が $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ である。

【0026】

InGaIn からなる多重量子井戸活性層 15 は、厚さが 3 nm の InGaIn からなる井戸層と、厚さが 7 nm で In 組成比が 2% の InGaIn からなる障壁層とにより構成され、発光波長が 405 nm となるように井戸層における In 組成比が調整されている。井戸層の積層数は 3 である。なお、多重量子井戸活性層 15 には、意図的なドーピングは行っていない。

20

【0027】

p 型 GaN からなる p 型光ガイド層 16 は、厚さが $0.1\text{ }\mu\text{m}$ であり、p 型不純物としてマグネシウム (Mg) がドーピングされている。Mg の濃度は、多重量子井戸活性層 15 に向かって徐々に減少している。すなわち、電子ブロック層 17 と接する面の Mg 濃度は $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ であり、多重量子井戸活性層 15 と接する部分の Mg の濃度はほぼ 0 である。

【0028】

p 型 AlGaIn からなる電子ブロック層 17 は、厚さが 10 nm で、Al 組成比が 20% である。p 型ドーパントである Mg の濃度は $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ である。

30

【0029】

p 型クラッド層 18 は、Al 組成比が 10% で厚さが 2 nm の AlGaIn 層と、厚さが 2 nm の GaN 層とが複数層積層された超格子構造を有し、Mg が $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングされている。p 型クラッド層 18 の厚さは、後述するリッジ導波路が形成されている部分で 500 nm であり、リッジ導波路の側方部分で 100 nm である。

【0030】

p 型 GaN からなるコンタクト層 19 は、厚さが 20 nm であり、Mg が $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングされている。

【0031】

p 型クラッド層 18 の上部及びコンタクト層 19 は、晶帯軸が $\langle 1-100 \rangle$ 方向であるストライプ状のリッジ導波路を構成している。ここで、晶帯軸の指数に付した負符号 “-” は該負符号に続く一の指数の反転を便宜的に表している。このリッジ導波路により、電流が流れる領域がリッジ導波路の下方部分に限定され、電流狭窄が行われる。これに加え、光の実効的な屈折率は、リッジ導波路の形成部分と非形成部分とではリッジ導波路の形成部分の方が大きいために、生成された光はリッジ導波路に閉じ込められる。なお、リッジ導波路の下部の幅は $1.4\text{ }\mu\text{m}$ であり、その上部の幅は $1.2\text{ }\mu\text{m}$ である。

40

【0032】

また、絶縁膜 20 は厚さが 400 nm で、酸化シリコンなどからなり、p 型クラッド層 18 とコンタクト層 19 とを外部の接触から保護するためのものである。

50

【0033】

コンタクト層19に接するp側電極21は、例えばパラジウム(Pd)で構成されている。また、n型GaN基板11の裏面であるN終端面に形成されたn側電極22は、例えばチタン(Ti)で構成されている。

【0034】

リッジ導波路は、共振器の長さが600 μ mとなるようにへき開され、その端面は、面方位が(1-100)面であるミラー面(図示せず)を形成している。なお、ミラー面上に反射率調整のための絶縁膜を形成してもよい。

【0035】

本実施形態の半導体レーザ装置の特徴は、絶縁膜20内に水素を捕獲する不純物を含む不純物領域23が形成されていることにある。不純物領域23は、絶縁膜20がほぼ平坦な領域であるA1-A2断面(図1参照)において、絶縁膜20の上面から深さ100nmの位置を中心にして、全体の膜厚が約50nmで形成されている。

【0036】

本実施形態の半導体レーザ装置は、以下のようにして作製される。図2(a)~(c)は、第1の実施形態に係る半導体レーザ装置の製造方法を示す断面図である。

【0037】

まず、図2(a)に示すように、n型GaN基板の主面上にMOCVD法などにより、n型GaN層12、n型クラッド層13、n型光ガイド層14、多重量子井戸活性層15、p型光ガイド層16、電子ブロック層17、p型クラッド層18、コンタクト層19を下から順にエピタキシャル成長する。

【0038】

次に、図2(b)に示すように、レジストを用いたドライエッチング等により、コンタクト層19およびp型クラッド層18の上部のそれぞれ一部を除去し、ストライプ状のリッジ導波路を形成する。

【0039】

次に、図2(c)に示すように、熱CVD法などにより厚さ300nmのSiO₂膜を堆積し、当該SiO₂膜の表面をCF₄からなるプラズマで5秒程度処理をする。プラズマの照射には、例えば平行平板型の反応性イオンエッチング(RIE)装置を用い、通常のSiO₂をエッチングする条件を用いることができる。この処理でSiO₂膜の表面にフッ素が付着する。その後、熱CVD法によって厚さ100nmのSiO₂膜を堆積する。熱CVDで基板がおよそ250℃に加熱されるため、厚さが300nmのSiO₂膜表面に付着していたフッ素が拡散して厚さ50nmの不純物領域23が形成される。この工程により、不純物領域23に含まれるフッ素がp型クラッド層18に含まれる水素を捕獲するので、アクセプタの活性化率の低下が防がれ、高出力で長寿命の半導体レーザ装置を実現できる。

【0040】

なお、フッ素をSiO₂膜に付着させる方法として、プラズマ照射に代えて、ClF₃やHFなどのガス雰囲気、基板を室温から200℃程度までの温度でさらしてもよい。

【0041】

これらの方法では、プラズマ処理の時間やガス処理の時間を調整することで、不純物領域23の濃度や幅を調整することが可能である。処理時間を長くするとフッ素濃度が増加するためより多くの水素が捕獲できて好ましいが、フッ素系のプラズマやガスはSiO₂膜をエッチングするため、絶縁膜20の厚さが所望よりも薄くなってしまう。また、フッ素の付着よりエッチングが支配的になって、処理開始後2分程度以降はフッ素の付着量が飽和してしまう。そのような事情から、好ましい処理時間は1秒から2分の間である。

【0042】

なお、上記の方法の他に、より高精度に不純物領域23の濃度や厚さを制御可能な方法として、厚さ400nmのSiO₂膜を堆積した後に、イオン注入でフッ素を導入することも可能である。イオン注入を用いた場合、フッ素導入の後に熱CVDなどの加熱工程が

10

20

30

40

50

無い場合があり、イオン注入などでフッ素を導入しただけでは、フッ素が活性化せず、水素が捕獲されにくいことがある。この場合、フッ素導入の後に 150 以上、より好ましくは 250 程度の熱処理を基板に加えることが好ましい。

【0043】

なお、不純物領域 23 に添加される不純物はフッ素に限られず、水素と結合可能であればよく、また、p 型不純物や n 型不純物と同一の原子でもよい。不純物領域 23 に添加された不純物と水素との結合エンタルピーの絶対値を、p 型不純物と水素との結合エンタルピーの絶対値よりも大きくすることで、水素をより効果的に不純物領域に捕獲させることが好ましい。

【0044】

図 3 は、各元素の水素との結合エンタルピーを示す図である。

【0045】

半導体レーザ装置のような発光デバイスの場合は、不純物領域 23 の不純物として光のエネルギーよりも十分に高い結合エネルギーを得られる原子が好ましく、且つ、イオン注入、拡散、プラズマ処理、ウェット処理等の工程によって不純物の導入が容易な原子が好ましい。

【0046】

例えば、発光波長が 405 nm の半導体レーザ装置または LED の場合は、405 nm の波長に相当するエネルギーは 3.06 eV である。このエネルギーに耐え得るには、295 kJ/mol よりも大きい結合エンタルピーが必要である。このことから、発光波長 405 nm の発光デバイスに用いることが可能な原子は、図 3 から、B (ボロン)、C (炭素)、N (窒素)、O (酸素)、F (フッ素)、Si (シリコン)、P (リン)、S (硫黄)、Cl (塩素)、Ge (ゲルマニウム)、Se (セレン)、Br (臭素)、I (ヨウ素) 及び Pt (白金) であることが分かる。

【0047】

また、波長が 460 nm の半導体レーザ装置または青色 LED 等の場合は、260 kJ/mol よりも大きい結合エンタルピーが必要である。このため、上記の原子に加えて、Al (アルミニウム)、Cu (銅)、Ga (ガリウム)、As (砒素)、Sn (スズ)、Te (テルル) 及び Au (金) を用いることができる。

【0048】

また、波長が 530 nm の半導体レーザ装置または緑色 LED 等の場合は、226 kJ/mol よりも大きい結合エンタルピーが必要であるため、上記の原子に加えて、Li (リチウム)、Mn (マンガン)、Co (コバルト)、Ni (ニッケル)、Ru (ルテニウム)、Rh (ロジウム)、Pd (パラジウム) 及び In (インジウム) を用いることができる。

【0049】

先に挙げた原子のうち、最も好ましい原子は、水素との結合エンタルピーが最も高いフッ素 (F) であり、第 1 の実施形態において不純物はフッ素を用いている。

【0050】

また、導入された原子は、単体の原子の状態であるほかに、数個の原子が集まったクラスターや、数十個程度以上の原子が集まった微粒子、その原子と他の原子が結合した分子であってもよい。例えば、パラジウム原子が数十個集まったパラジウム微粒子では、単体のパラジウムより水素の吸着能力が向上し、単体のパラジウムより大きな結合エンタルピーが得られる場合がある。

【0051】

図 4 は、第 1 の実施形態に係る半導体レーザ装置の A1 - A2 線断面 (図 1 参照) における p 型クラッド層および不純物領域のフッ素濃度と水素濃度の深さ分布を示している。ここで、フッ素濃度と水素濃度とは、2 次イオン質量分析法 (secondary ion mass spectrometry: SIMS) で評価した。なお、SiO₂ からなる絶縁膜 20 と、AlGaIn 層を含む超格子を有する p 型クラッド層 18 とでは、SIMS 装置での 2 次イオンの発生効

10

20

30

40

50

率が異なる。絶縁膜 20 から p 型クラッド層 18 にわたって、一つの計算式で SIMS のカウント数を濃度に変換することができないため、縦軸は濃度ではなくカウント数としている。

【0052】

図 4 に示すように、フッ素の濃度は、不純物領域 23 でピークを示している。別途準備した SiO_2 中のフッ素定量用のサンプルによってピークでのフッ素濃度を定量したところ、フッ素濃度は約 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であった。ピーク以外の領域のフッ素濃度は、SIMS の測定装置内の残留ガスなどの影響、もしくは、故意のドーピングではない、原料など含まれる不純物などによるバックグラウンドレベルであった。

【0053】

また、水素の濃度分布についても、不純物領域 23 でフッ素と同様のピークを示し、その他の領域では水素濃度が低くなっていた。別途準備した SiO_2 中の水素定量用サンプルおよび GaN 中の水素定量用サンプルを用いて水素を定量したところ、不純物領域 23 のピーク水素濃度は約 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、不純物領域 23 以外の周辺の絶縁膜 20 の平均水素濃度は約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、p 型クラッド層 18 中の平均水素濃度は約 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。なお、不純物領域 23 から表面側にかけて徐々に水素濃度が増加しているように見えるのは、 SiO_2 表面に付着している水などの影響で、測定上の理由による。

【0054】

図 12 に本発明の比較用として作製した半導体レーザ装置の断面構成を示す。同図に示す比較用の半導体レーザ装置は、本実施形態に係る半導体レーザ装置と動作特性及び信頼性を比較するために作製されたもので、不純物領域 23 を設けない以外は、図 1 に示す半導体レーザ装置と全く同等の構造を持つ。図 12 において、各部材の符号は図 1 と同じものを用いている。

【0055】

ここで、第 1 の実施形態に係る半導体レーザ装置と、比較用の図 12 に示す半導体レーザ装置での水素濃度の違いを比較するために、比較用の半導体レーザ装置においてもフッ素濃度と水素濃度の分布を調べた。

【0056】

図 13 は、比較用の半導体レーザ装置の A1 - A2 線断面（図 12 参照）における p 型クラッド層および不純物領域のフッ素濃度と水素濃度の深さ分布を示す図である。

【0057】

図 13 の結果から、比較用の半導体レーザ装置では、不純物領域 23 がないため、フッ素の濃度分布は SIMS の測定装置内の残留ガスなどの影響、もしくは、故意のドーピングではない、原料に含まれる不純物などによるバックグラウンドレベルを示す。

【0058】

水素の濃度分布を定量したところ、絶縁膜 20 の平均水素濃度は約 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、p 型クラッド層 18 の平均水素濃度は約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、いずれも本実施形態の半導体レーザ装置より高いことが分かった。

【0059】

なお、本実施形態の半導体レーザ装置において、不純物領域 23 のフッ素の濃度や厚さは上記の範囲に限定されるものではないが、p 型クラッド層 18 中の水素を十分に捕獲できる量のフッ素を導入することが好ましい。

【0060】

図 12 に示す比較用の半導体レーザ装置のように、p 型クラッド層 18 の平均水素濃度が約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、厚さが 100 nm の場合、少なくとも単位面積当たり $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の水素が捕獲できるようにフッ素の量を設定することが好ましい。例えば、フッ素の濃度を $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で均一と仮定すると、計算上は 15 nm の厚さで、ちょうど直下にある p 型クラッド層 18 内の水素を捕獲できる。実際には、電子ブロック層 17 と p 型光ガイド層 16 の一部も p 型であって水素が存在し、さらにリッジ

10

20

30

40

50

導波路では500nmの厚さのp型クラッド層18とコンタクト層19がある。これらの層内の水素も捕獲できるように、前述のp型クラッド層18のみを考慮した計算より厚めに不純物領域23を設けることが好ましい。また、フッ素の濃度も、実際には理想的な矩形形状にはならず、想定よりも少なくなる可能性を考慮して、厚めに不純物領域23を設けることが好ましい。以上の事情から、本実施の形態では不純物領域23の厚さが50nmとなるべく、プラズマ処理時間を調整している。

【0061】

このように、本発明において、p型層内に残留する水素の濃度に応じて、水素を捕獲するための不純物の量を適切に制御すれば、p型層内の水素濃度を著しく低減することが可能である。

10

【0062】

一方、従来の熱アニールなどによる活性化では、p型層中の水素原子が熱によって表面まで拡散して、表面で2つの水素原子が会合して水素分子となることで水素が除去される。そのため、水素濃度が低くなればなるほど、2つの原子が会合する確率が低下し、水素濃度が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下となると、アニール時間を長くしても水素濃度はあまり減少しない。

【0063】

本実施形態に係る半導体レーザ装置では、図4と図12との比較から明らかなように、不純物領域23において水素が捕獲され、不純物領域23の水素濃度が不純物領域23の周囲の水素濃度よりも高くなっている。その結果、p型クラッド層18をはじめとするp型層の水素濃度を、比較用の従来の半導体レーザ装置に比べ著しく低減することが可能である。

20

【0064】

図5は、第1の実施形態に係る半導体レーザ装置と比較用の半導体レーザ装置とで電流、光出力及び電圧特性をそれぞれ比較したグラフである。

【0065】

本実施形態に係る半導体レーザ装置では、不純物領域23を設けることにより、p型層において電流が流れる部分の水素濃度も低下して、p型層のアクセプタの活性化率が向上している。また、本実施形態に係る半導体レーザ装置では、不純物領域23の厚さを十分大きく設定したため、A1-A2断面だけではなく、電流経路となるリッジ領域の水素濃度も低減されていると考えられる。このため、破線で示す比較用の半導体レーザ装置と比べて、実線で示す第1の実施形態に係る半導体レーザ装置は低抵抗であり、従って、同一の電流値では、より低い動作電圧で動作することができることが確かめられた。

30

【0066】

このように、第1の実施形態に係る半導体レーザ装置は、比較用の半導体レーザ装置と比べて、低動作電圧を実現でき、低消費電力であるという性能上の特徴を有する。このため、例えば第1の実施形態に係る半導体レーザ装置をDVD(digital versatile disk)装置の光源として用いた場合は、従来の半導体レーザ装置を用いる場合に比べてレーザ駆動回路の耐圧をより小さくすることができ、回路の小型化及び低コスト化が可能である。また、電池駆動によるポータブル機器においては、低消費電力であることから、より長時間の動作が可能となる。

40

【0067】

図6は、第1の実施形態に係る半導体レーザ装置と比較用の半導体レーザ装置とに対して行った高温信頼性加速試験の結果を示す図である。ここでは、温度を80℃に保ち、光出力がデューティ比50%のパルス出力で120mWで一定となるように注入電流の電流量を制御して、動作電流の変化を測定している。

【0068】

図6に示すように、時間の経過とともに比較用の半導体レーザ装置は徐々に動作電流が上昇し、動作時間が1000時間を超えたときに急激な動作電流の上昇を伴って破壊した。これは、高出力動作による光と発熱によってミラー面24が破壊的に故障する現象(C

50

O D : Catastrophic Optical Damage) である。

【 0 0 6 9 】

これに対し、本実施形態の半導体レーザ装置は、アクセプタの活性化率が高いために、p型層の伝導帯のエネルギー準位がより高くなって、活性層とp型層との間の伝導帯のバンド不連続量が増大する。その結果、電子のオーバーフローが減少するため、同一の光出力を得るのに、より低い動作電流で動作させることができ、動作初期の動作電圧及び動作電流が共に低く抑えられている。動作初期の消費電力が低いと、連続動作中の動作電流の上昇も低く抑えられるため、劣化を著しく遅らせることが可能となる。その結果、1500時間を経過しても動作電流の上昇が数%以内に収まっており、極めて安定した動作を得ることができる。この従来の半導体レーザ装置との差は、高温、高出力、長時間動作など、

10

【 0 0 7 0 】

このように、第1の実施形態に係る半導体レーザ装置は、高温環境下でより長時間の動作が可能である。従って、例えばDVD装置へ応用すれば、より高信頼性及び長寿命のDVD装置を実現でき、さらには、より高温での動作が求められる車載用のDVD装置を実現できる。また、記録用DVD装置においては、より大容量のデータをより短時間で書き込むために高倍速の書き込み動作に対する要望がある。この場合、半導体レーザ装置は、高出力下での連続動作が必要であり、発熱量が極めて大きい状態での信頼性が求められる。本実施形態の半導体レーザ装置は、高温下においても長時間安定して動作することが可能であるため、高倍速での書き込み動作を目的としたDVD装置への応用も可能となる等、産業上非常に有用なレーザ装置となる。

20

【 0 0 7 1 】

なお、本実施形態では半導体レーザ装置のp型クラッド層上およびリッジ導波路の側面に不純物領域を有する絶縁膜を形成する例を説明したが、LEDにおいてp型クラッド層上に不純物領域を有する絶縁膜を設けても半導体レーザ装置の例と同様の効果を得ることができる。また、本実施形態の半導体レーザ装置は端面発光レーザであるが、上述した水素を捕獲する不純物を有する絶縁膜を、面発光レーザに適用することも可能である。

【 0 0 7 2 】

(第 2 の 実 施 形 態)

本発明の第2の実施形態に係る窒化物半導体装置について図面を参照しながら説明する。

30

【 0 0 7 3 】

図7は、本発明の第2の実施形態に係る半導体レーザ装置の断面構成を示している。ただし、図1がリッジ導波路に垂直(光の出射方向に垂直)な縦断面図であったのに対し、図7は半導体レーザ装置のフロント側の光出射端近傍におけるリッジ導波路に平行な(光の出射方向に平行な)方向の縦断面図である。

【 0 0 7 4 】

図7に示す本実施形態の半導体レーザ装置において、n型GaN基板11、n型クラッド層13、n型光ガイド層14、多重量子井戸活性層15、p型光ガイド層16、電子ブロック層17、p型クラッド層18、コンタクト層19、p側電極21、n側電極22の構成は、第1の実施形態の図1の半導体レーザと全く同じ構成である。また、p型クラッド層18の上部及びコンタクト層19により形成される、晶帯軸が<1-100>方向であるストライプ状のリッジ導波路の構成も、第1の実施形態の半導体レーザ装置と同じである。

40

【 0 0 7 5 】

また、p型クラッド層18とコンタクト層19とを外部の接触から保護するため、p型クラッド層18のうちリッジ導波路の側方に位置する部分上からリッジ導波路の側面にわたって、厚さ400nmの酸化シリコン(SiO_2)からなる絶縁膜が形成されている(図示せず)。第2の実施形態では、p型クラッド層18上に形成される絶縁膜には不純物領域は形成されない。ただし、第2の実施形態の構成において、絶縁膜に第1の実施形態

50

の半導体レーザ装置と同様の不純物領域を設けても構わない。

【0076】

リッジ導波路は、共振器の長さが $600\mu\text{m}$ となるようにへき開され、(1-100)面(出射端面)上にミラー面24が形成されている。このミラー面24は、n型Ga_{0.5}N層12、n型クラッド層13、n型光ガイド層14、多重量子井戸活性層15、p型光ガイド層16、電子ブロック層17、p型クラッド層18、コンタクト層19などの端面で構成されている。

【0077】

本実施形態の半導体レーザ装置の特徴は、ミラー面24上に不純物領域23を有する絶縁膜30が堆積されていることにある。不純物領域23を有する絶縁膜30は、少なくともp型光ガイド層16、電子ブロック層17、p型クラッド層18、コンタクト層19、などのp型層の端面に形成されていればよい。

【0078】

絶縁膜30は、n型Ga_{0.5}N基板11や半導体層に近い方から順に、厚さ120nmのアルミナ(Al_2O_3)からなる第1絶縁膜30aと、厚さ70nmの酸化シリコン(SiO_2)からなる第2絶縁膜30bと、厚さ40nmのジルコン(ZrO_2)からなる第3絶縁膜30cとが順次堆積されることで形成されている。

【0079】

不純物領域23は、不純物として例えばフッ素を含み、図7に示すB1-B2断面において、例えば第1絶縁膜30aと第2絶縁膜30bとの界面から第1絶縁膜30aと第2絶縁膜30bの所定の領域に広がっている。不純物領域23の厚さは例えば50nmである。

【0080】

この不純物領域23は、以下のようにして形成することができる。

【0081】

まず、図2(b)に示す第1の実施形態と同様の工程によりリッジ導波路を形成した後、ミラー面24上にスパッタ装置などを用いて厚さ120nmの Al_2O_3 からなる第1絶縁膜30aの堆積を行う。その後、堆積した第1絶縁膜30aの露出面にフッ素を付着させる。付着させる方法は第1の実施形態で説明したとおりで、例えば5秒間のプラズマの照射を行う。なお、プラズマ照射に代えて、 ClF_3 やHFなどのガスを用いて不純物領域23を形成してもよい。ここで、不純物領域23に添加される不純物はフッ素に限られず、水素と結合可能な原子であればよいことは、第1の実施形態で説明した通りである。

【0082】

次に、フッ素付着後、厚さ70nmの SiO_2 からなる第2絶縁膜30b、厚さ40nmの ZrO_2 からなる第3絶縁膜30cを堆積する。 SiO_2 もしくは ZrO_2 の堆積中、あるいは堆積後に、水素の捕獲を促進するために、150℃以上の加熱を行うことが好ましいことは、第1の実施形態と同様である。なお、第1の実施形態と同様に、絶縁膜30を堆積した後、イオン注入によって不純物領域23を形成することもできる。

【0083】

また、第1絶縁膜30aと第2絶縁膜30bとの界面付近に不純物領域23を設ける以外に、第2絶縁膜30bと第3絶縁膜30cとの界面や、いずれかの絶縁膜中に不純物領域を設けてもよい。絶縁膜30が複数の膜からなるときは、各膜の界面に不純物領域を設ける工程を実施したほうが、各膜の内部に不純物領域を設ける場合よりも膜堆積の工程数が増えないので好ましい。

【0084】

図8は、第2の実施形態に係る半導体レーザ装置における不純物領域23のB1-B2線(図7参照)でのフッ素濃度と水素濃度のSIMSによる深さ分布を示す図である。実際には、SIMSの測定範囲を各層の厚さ程度に絞ることは不可能なため、基板および各層の水素濃度の平均的な値を観測している。

10

20

30

40

50

【0085】

図8に示すように、フッ素の濃度分布は不純物領域23でピークを示し、水素の濃度分布についても、不純物領域23でフッ素と同様のピークを示していることから、水素が不純物領域23に捕獲されていることが確認された。

【0086】

ミラー面24上に設けた絶縁膜30に不純物領域23を設け、ミラー面24近傍の水素濃度を低減することは、ミラー面24近傍での電子のオーバーフローを低減し、ミラー面24近傍での発熱を低減する。そのため、本実施形態の構成はCODの抑制に効果がある。

【0087】

なお、本実施形態では各半導体層の光出射端面上の構成を説明したが、光出射端面（後方端面）上に不純物領域を有する絶縁膜をさらに形成してもよい。

【0088】

（第3の実施形態）

本発明の第3の実施形態に係る窒化物半導体装置について図面を参照しながら説明する。

【0089】

図9は、第3の実施形態に係る半導体レーザ装置の断面構成を示す図である。半導体レーザ装置のフロント側の光出射端近傍におけるリッジ導波路に平行な（光の出射方向に平行な）方向の縦断面図である。図9に示す半導体レーザ装置は、第2の不純物領域23bを除いて図7に示す第2の実施形態の半導体レーザ装置と同じ構成を有している。

【0090】

本実施形態の半導体レーザ装置の特徴は、絶縁膜30と各窒化物半導体層との界面であるミラー面24近傍にフッ素を含む第2の不純物領域23bが形成されていることにある。

【0091】

第2の不純物領域23bは、B1-B2断面において、第1絶縁膜30aと第2絶縁膜30bとの界面部分に約25nmの厚さで形成されている。このような構成は、例えば以下のような方法で作製することができる。

【0092】

まず、図2(b)に示す第1の実施形態と同様の工程によりリッジ導波路を形成した後ミラー面24にフッ素を付着させる。付着方法は第1の実施形態で説明した通りである。本実施形態では例えばプラズマ照射時間を2秒とする。ここで、厚さが25nmの第2の不純物領域23bを形成するのに必要なプラズマ照射時間が、50nmの場合の半分の2.5秒より短いのは、プラズマ照射初期にフッ素の付着量が一気に増加し、その後徐々にフッ素の付着量が飽和するためである。

【0093】

次に、第2の実施形態と同様に、厚さ120nmの Al_2O_3 からなる第1絶縁膜30aの堆積を行った後、堆積した Al_2O_3 の表面にフッ素を付着させる。本実施形態では、プラズマの照射時間を2秒とした。なお、フッ素を付着させる表面の材料によって、フッ素の付着量の時間依存性が異なると考えられるが、この場合はあまり変わらず、2秒でミラー面24上とほぼ同じフッ素の付着量となる。このように、プラズマ照射時間は材料や条件によって適宜変更すればよい。

【0094】

その後、厚さ70nmの SiO_2 からなる第2絶縁膜30b、厚さ40nmの ZrO_2 からなる第3絶縁膜30cを堆積する。 SiO_2 もしくは ZrO_2 の堆積中、あるいは堆積後に、水素の捕獲を促進するために、150以上の加熱を行うことが好ましい。

【0095】

図10は、第3の実施形態に係る半導体レーザ装置における不純物領域23および第2の不純物領域23bのB1-B2線（図9参照）でのフッ素濃度と水素濃度のSIMSに

10

20

30

40

50

よる深さ分布を示す図である。実際には、S I M S の測定範囲を各層の厚さ程度に絞ることは不可能なため、基板および各層の水素濃度の平均的な値を観測している。

【0096】

図10に示すように、フッ素の濃度分布は不純物領域23と第2の不純物領域23bとでピークを示し、水素の濃度分布についても、不純物領域23と第2の不純物領域23bとでフッ素と同様のピークを示していることから、水素が不純物領域23および第2の不純物領域23bに捕獲されていることが確認された。

【0097】

なお、本実施形態の半導体レーザ装置において、不純物領域23を設けず、第2の不純物領域23bのみであっても、水素を捕獲する効果を得られる。また、半導体の表面と絶縁膜との界面に不純物領域を設ける方法として、絶縁膜30とp型クラッド層18との界面に不純物領域を設けることが可能である。

【0098】

なお、第1～第3の実施形態において、不純物領域23、または第2の不純物領域23bに添加されるフッ素等の不純物の濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。これは、不純物の濃度が15乗のオーダーを切ると、ゲッタリングできる水素が少なくなって効果がほとんど期待できず、一方、不純物の濃度が21乗のオーダーを超えると、添加した不純物の単位あたりの原子数が不純物領域を構成する半導体組成と同程度となって、絶縁膜に構造的な変化をもたらし、光閉じ込めなどの機能に影響をもたらすからである。ただし、不純物領域に添加されるフッ素(F)等の不純物の濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ に限定されない。

【0099】

なお、第1の実施形態における絶縁膜20や第2、第3の実施形態における絶縁膜30の材料は、 SiO_2 の他、 ZrO_2 、 HfO_2 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 、 Al_2O_3 などの酸化膜、 AlN 、 GaN などの窒化膜、 AlON などの酸窒化膜、またはこれらの積層膜であってもよい。また、アモルファスシリコンなどの高抵抗の半導体膜であってもよい。

【産業上の利用可能性】

【0100】

本発明に係る半導体レーザ装置は、DVD装置などの書込みや読み出しを行う装置等の信頼性の向上に有用である。

【図面の簡単な説明】

【0101】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザ装置(窒化物半導体装置)の断面構成を示す図である。

【図2】(a)～(c)は、第1の実施形態に係る半導体レーザ装置の製造方法を示す断面図である。

【図3】各元素の水素との結合エンタルピーを示す図である。

【図4】第1の実施形態に係る半導体レーザ装置のA1-A2線断面におけるp型クラッド層および不純物領域のフッ素濃度と水素濃度の深さ分布を示すグラフである。

【図5】第1の実施形態に係る半導体レーザ装置と比較用の半導体レーザ装置とにおいて電流、光出力及び電圧特性をそれぞれ比較したグラフである。

【図6】第1の実施形態に係る半導体レーザ装置と比較用の半導体レーザ装置とに対して行った高温信頼性加速試験の結果を示すグラフである。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る半導体レーザ装置の断面構成を示す図である。

【図8】第2の実施形態に係る半導体レーザ装置における不純物領域のB1-B2線でのフッ素濃度と水素濃度のS I M S による深さ分布を示すグラフである。

【図9】第3の実施形態に係る半導体レーザ装置の断面構成を示す図である。

【図10】第3の実施形態に係る半導体レーザ装置における不純物領域および第2の不純物領域のB1-B2線でのフッ素濃度と水素濃度のS I M S による深さ分布を示すグラフ

10

20

30

40

50

である。

【図 1 1】レーザ装置として機能する従来の窒化物半導体の断面図である。

【図 1 2】比較用の半導体レーザ装置の断面構成を示す。

【図 1 3】比較用の半導体レーザ装置の A 1 - A 2 線断面における p 型クラッド層および不純物領域のフッ素濃度と水素濃度の深さ分布を示すグラフである。

【符号の説明】

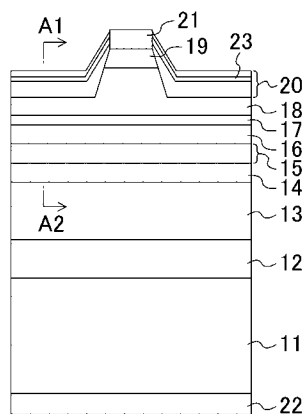
【 0 1 0 2 】

- 1 1 n 型 G a N 基板
- 1 2 n 型 G a N 層
- 1 3 n 型クラッド層
- 1 4 n 型光ガイド層
- 1 5 多重量子井戸活性層
- 1 6 p 型光ガイド層
- 1 7 電子ブロック層
- 1 8 p 型クラッド層
- 1 9 コンタクト層
- 2 0、3 0 絶縁膜
- 2 1 p 側電極
- 2 2 n 側電極
- 2 3 不純物領域
- 2 3 b 第 2 の不純物領域
- 2 4 ミラー面
- 3 0 a 第 1 絶縁膜
- 3 0 b 第 2 絶縁膜
- 3 0 c 第 3 絶縁膜

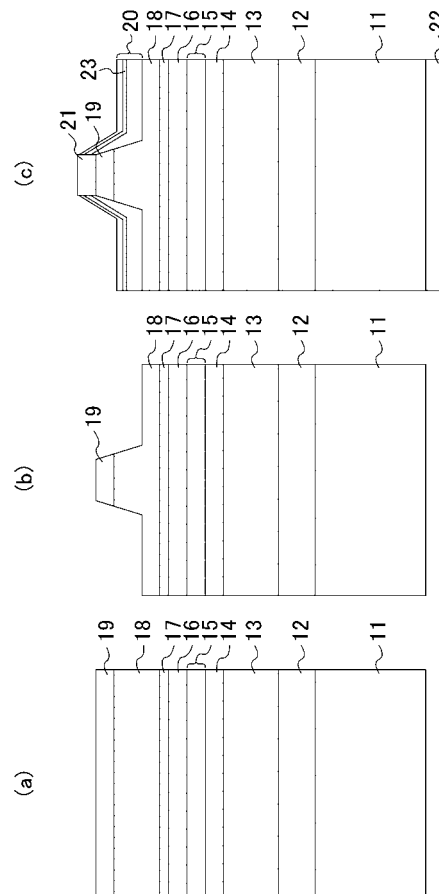
10

20

【図 1】



【図 2】

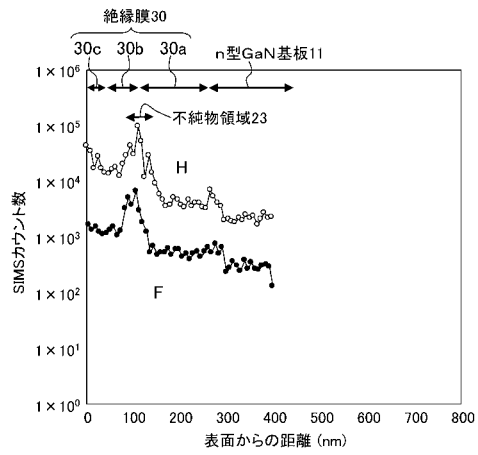


【図 3】

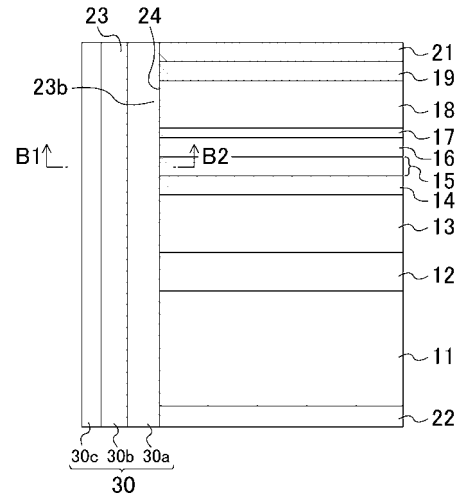
(単位 kJ/mol)

1	H	435.99	2	He	18
3	Li	435.99	4	Be	17
5	Na	435.99	6	Mg	16
7	K	435.99	8	Ca	15
9	Rb	435.99	10	Sr	14
11	Cs	435.99	12	Ba	13
13	Fr	435.99	14	Ra	12
15	Ac	435.99	16	Th	11
17	Pa	435.99	18	U	10
19	Np	435.99	20	Pu	9
21	Am	435.99	22	Cm	8
23	Bk	435.99	24	Cf	7
25	Es	435.99	26	Bh	6
27	Hf	435.99	28	Ta	5
29	Lu	435.99	30	Hf	4
31	Yb	435.99	32	Ta	3
33	La	435.99	34	Hf	2
35	Ce	435.99	36	Ta	1
37	Pr	435.99	38	Hf	0
39	Nd	435.99	40	Ta	-1
41	Pm	435.99	42	Hf	-2
43	Sm	435.99	44	Ta	-3
45	Eu	435.99	46	Hf	-4
47	Gd	435.99	48	Ta	-5
49	Tb	435.99	50	Hf	-6
51	Dy	435.99	52	Ta	-7
53	Ho	435.99	54	Hf	-8
55	Er	435.99	56	Ta	-9
57	Tm	435.99	58	Hf	-10
59	Yb	435.99	60	Ta	-11
61	Lu	435.99	62	Hf	-12
63	La	435.99	64	Ta	-13
65	Ce	435.99	66	Hf	-14
67	Pr	435.99	68	Ta	-15
69	Nd	435.99	70	Hf	-16
71	Pm	435.99	72	Ta	-17
73	Sm	435.99	74	Hf	-18
75	Eu	435.99	76	Ta	-19
77	Gd	435.99	78	Hf	-20
79	Tb	435.99	80	Ta	-21
81	Dy	435.99	82	Hf	-22
83	Ho	435.99	84	Ta	-23
85	Er	435.99	86	Hf	-24
87	Tm	435.99	88	Ta	-25
89	Yb	435.99	90	Hf	-26
91	Lu	435.99	92	Ta	-27
93	La	435.99	94	Hf	-28
95	Ce	435.99	96	Ta	-29
97	Pr	435.99	98	Hf	-30
99	Nd	435.99	100	Ta	-31
101	Pm	435.99	102	Hf	-32
103	Sm	435.99	104	Ta	-33
105	Eu	435.99	106	Hf	-34
107	Gd	435.99	108	Ta	-35
109	Tb	435.99	110	Hf	-36
111	Dy	435.99	112	Ta	-37
113	Ho	435.99	114	Hf	-38
115	Er	435.99	116	Ta	-39
117	Tm	435.99	118	Hf	-40
119	Yb	435.99	120	Ta	-41
121	Lu	435.99	122	Hf	-42
123	La	435.99	124	Ta	-43
125	Ce	435.99	126	Hf	-44
127	Pr	435.99	128	Ta	-45
129	Nd	435.99	130	Hf	-46
131	Pm	435.99	132	Ta	-47
133	Sm	435.99	134	Hf	-48
135	Eu	435.99	136	Ta	-49
137	Gd	435.99	138	Hf	-50
139	Tb	435.99	140	Ta	-51
141	Dy	435.99	142	Hf	-52
143	Ho	435.99	144	Ta	-53
145	Er	435.99	146	Hf	-54
147	Tm	435.99	148	Ta	-55
149	Yb	435.99	150	Hf	-56
151	Lu	435.99	152	Ta	-57
153	La	435.99	154	Hf	-58
155	Ce	435.99	156	Ta	-59
157	Pr	435.99	158	Hf	-60
159	Nd	435.99	160	Ta	-61
161	Pm	435.99	162	Hf	-62
163	Sm	435.99	164	Ta	-63
165	Eu	435.99	166	Hf	-64
167	Gd	435.99	168	Ta	-65
169	Tb	435.99	170	Hf	-66
171	Dy	435.99	172	Ta	-67
173	Ho	435.99	174	Hf	-68
175	Er	435.99	176	Ta	-69
177	Tm	435.99	178	Hf	-70
179	Yb	435.99	180	Ta	-71
181	Lu	435.99	182	Hf	-72
183	La	435.99	184	Ta	-73
185	Ce	435.99	186	Hf	-74
187	Pr	435.99	188	Ta	-75
189	Nd	435.99	190	Hf	-76
191	Pm	435.99	192	Ta	-77
193	Sm	435.99	194	Hf	-78
195	Eu	435.99	196	Ta	-79
197	Gd	435.99	198	Hf	-80
199	Tb	435.99	200	Ta	-81
201	Dy	435.99	202	Hf	-82
203	Ho	435.99	204	Ta	-83
205	Er	435.99	206	Hf	-84
207	Tm	435.99	208	Ta	-85
209	Yb	435.99	210	Hf	-86
211	Lu	435.99	212	Ta	-87
213	La	435.99	214	Hf	-88
215	Ce	435.99	216	Ta	-89
217	Pr	435.99	218	Hf	-90
219	Nd	435.99	220	Ta	-91
221	Pm	435.99	222	Hf	-92
223	Sm	435.99	224	Ta	-93
225	Eu	435.99	226	Hf	-94
227	Gd	435.99	228	Ta	-95
229	Tb	435.99	230	Hf	-96
231	Dy	435.99	232	Ta	-97
233	Ho	435.99	234	Hf	-98
235	Er	435.99	236	Ta	-99
237	Tm	435.99	238	Hf	-100
239	Yb	435.99	240	Ta	-101
241	Lu	435.99	242	Hf	-102
243	La	435.99	244	Ta	-103
245	Ce	435.99	246	Hf	-104
247	Pr	435.99	248	Ta	-105
249	Nd	435.99	250	Hf	-106
251	Pm	435.99	252	Ta	-107
253	Sm	435.99	254	Hf	-108
255	Eu	435.99	256	Ta	-109
257	Gd	435.99	258	Hf	-110
259	Tb	435.99	260	Ta	-111
261	Dy	435.99	262	Hf	-112
263	Ho	435.99	264	Ta	-113
265	Er	435.99	266	Hf	-114
267	Tm	435.99	268	Ta	-115
269	Yb	435.99	270	Hf	-116
271	Lu	435.99	272	Ta	-117
273	La	435.99	274	Hf	-118
275	Ce	435.99	276	Ta	-119
277	Pr	435.99	278	Hf	-120
279	Nd	435.99	280	Ta	-121
281	Pm	435.99	282	Hf	-122
283	Sm	435.99	284	Ta	-123
285	Eu	435.99	286	Hf	-124
287	Gd	435.99	288	Ta	-125
289	Tb	435.99	290	Hf	-126
291	Dy	435.99	292	Ta	-127
293	Ho	435.99	294	Hf	-128
295	Er	435.99	296	Ta	-129
297	Tm	435.99	298	Hf	-130
299	Yb	435.99	300	Ta	-131
301	Lu	435.99	302	Hf	-132
303	La	435.99	304	Ta	-133
305	Ce	435.99	306	Hf	-134
307	Pr	435.99	308	Ta	-135
309	Nd	435.99	310	Hf	-136
311	Pm	435.99	312	Ta	-137
313	Sm	435.99	314	Hf	-138
315	Eu	435.99	316	Ta	-139
317	Gd	435.99	318	Hf	-140
319	Tb	435.99	320	Ta	-141
321	Dy	435.99	322	Hf	-142
323	Ho	435.99	324	Ta	-143
325	Er	435.99	326	Hf	-144
327	Tm	435.99	328	Ta	-145
329	Yb	435.99	330	Hf	-146
331	Lu	435.99	332	Ta	-147
333	La	435.99	334	Hf	-148
335	Ce	435.99	336	Ta	-149
337	Pr	435.99	338	Hf	-150
339	Nd	435.99	340	Ta	-151
341	Pm	435.99	342	Hf	-152
343	Sm	435.99	344	Ta	-153
345	Eu	435.99	346	Hf	-154
347	Gd	435.99	348	Ta	-155
349	Tb	435.99	350	Hf	-156
351	Dy	435.99	352	Ta	-157
353	Ho	435.99	354	Hf	-158
355	Er	435.99	356	Ta	-159
357	Tm	435.99	358	Hf	-160
359	Yb	435.99	360	Ta	-161
361	Lu	435.99	362	Hf	-162
363	La	435.99	364	Ta	-163
365	Ce	435.99	366	Hf	-164
367	Pr	435.99	368	Ta	-165
369	Nd	435.99	370	Hf	-166
371	Pm	435.99	372	Ta	-167
373	Sm	435.99	374	Hf	-168
375	Eu	435.99	376	Ta	-169
377	Gd	435.99	378	Hf	-170
379	Tb	435.99	380	Ta	-171
381	Dy	435.99	382	Hf	-172
383	Ho	435.99	384	Ta	-173
385	Er	435.99	386	Hf	-174
387	Tm	435.99	388	Ta	-175
389	Yb	435.99	390	Hf	-176
391	Lu	435.99	392	Ta	-177
393	La	435.99	394	Hf	-178
395	Ce	435.99	396	Ta	-179
397	Pr	435.99	398	Hf	-180
399	Nd	435.99	400	Ta	-181
401	Pm	435.99	402	Hf	-182
403	Sm	435.99	404	Ta	-183
405	Eu	435.99	406	Hf	-184
407	Gd	435.99	408	Ta	-185
409	Tb	435.99	410	Hf	-186
411	Dy	435.99	412	Ta	-187
413	Ho	435.99	414	Hf	-188
415	Er	435.99	416	Ta	-189
417	Tm	435.99	418	Hf	-190
419	Yb	435.99	420	Ta	-191
421	Lu	435.99	422	Hf	-192
423	La	435.99	424	Ta	-193
425	Ce	435.99	426	Hf	-194
427	Pr	435.99	428	Ta	-195
429	Nd	435.99	430	Hf	-196
431	Pm	435.99	432	Ta	-197
433	Sm	435.99	434	Hf	-198
435	Eu	435.99	436	Ta	-199
437	Gd	435.99	438	Hf	-200
439	Tb	435.99	440	Ta	-201
441	Dy	435.99	442	Hf	-202
443	Ho	435.99	444	Ta	-203
445	Er	435.99	446	Hf	-204
447	Tm	435.99	448	Ta	-205
449	Yb	435.99	450	Hf	-206
451	Lu	435.99	452	Ta	-207
453	La	435.99	454	Hf	-208
455	Ce	435.99	456	Ta	-209
457	Pr	435.99	458	Hf	-210
459	Nd	435.99	460	Ta	-211
461	Pm	435.99	462	Hf	-212
463	Sm	435.99	464	Ta	-213
465	Eu	435.99	466	Hf	-214
467	Gd	435.99	468	Ta	-215
469	Tb	435.99	470	Hf	-216
471	Dy	435.99	472	Ta	-217
473	Ho	435.99	474	Hf	-218
475	Er	435.99	476	Ta	-219
477	Tm	435.99	478	Hf	-220
479	Yb	435.			

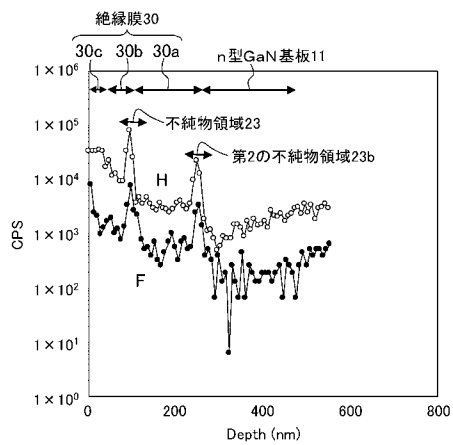
【図 8】



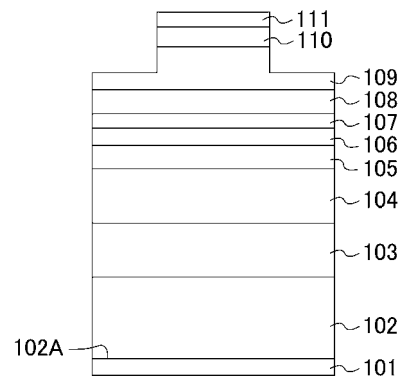
【図 9】



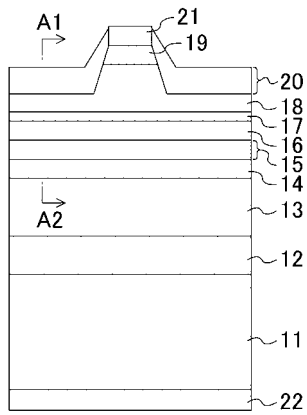
【図 10】



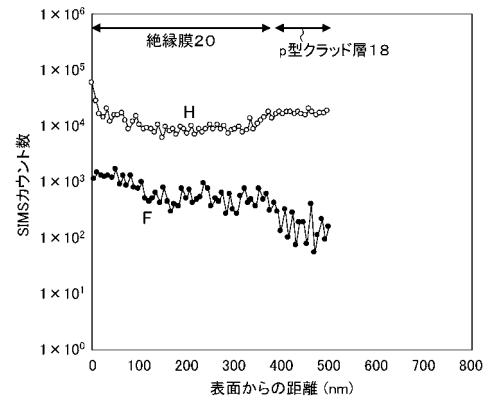
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(74)代理人 100117581

弁理士 二宮 克也

(74)代理人 100117710

弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121728

弁理士 井関 勝守

(74)代理人 100124671

弁理士 関 啓

(74)代理人 100131060

弁理士 杉浦 靖也

(72)発明者 石田 昌宏

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

Fターム(参考) 5F173 AA08 AG20 AH22 AL06 AL13 AP05 AP33 AP52 AP73 AR96