

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4041908号
(P4041908)

(45) 発行日 平成20年2月6日(2008.2.6)

(24) 登録日 平成19年11月22日(2007.11.22)

(51) Int.Cl.

F 1

H 01 L 33/00 (2006.01)

H 01 L 33/00

C

H 01 L 21/205 (2006.01)

H 01 L 21/205

H 01 S 5/343 (2006.01)

H 01 S 5/343 610

請求項の数 1 (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願2001-386428 (P2001-386428)

(22) 出願日

平成13年12月19日(2001.12.19)

(65) 公開番号

特開2003-188414 (P2003-188414A)

(43) 公開日

平成15年7月4日(2003.7.4)

審査請求日

平成16年10月20日(2004.10.20)

(73) 特許権者 000106276

サンケン電気株式会社

埼玉県新座市北野3丁目6番3号

(73) 特許権者 304021277

国立大学法人 名古屋工業大学

愛知県名古屋市昭和区御器所町字木市29番

(74) 代理人 100072154

弁理士 高野 則次

(72) 発明者 大塚 康二

埼玉県新座市北野3丁目6番3号 サンケン電気株式会社内

(72) 発明者 杉 哲次

埼玉県新座市北野3丁目6番3号 サンケン電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体発光素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一方の主面がミラ - 指数で示す結晶面方位の [111] 面から [110] 方向又は [110] 方向又は [112] 方向又は [112] 方向のいずれかに 0.5 ~ 5 度の角度で傾斜しているシリコン基板を用意する工程と、

前記シリコン基板の一方の主面に、

化学式 $Al_xGa_{1-x}N$

ここで x は、 $0 < x < 1$

を満足する数値、

で示すことができる材料を 0.5 ~ 10 nm の厚みに気相成長させて第 1 のバッファ層を得る工程と、 10

前記第 1 のバッファ層の上に

GaN 又は化学式 $Al_yGa_{1-y}N$

ここで、 y は、 $y < x$

$0 < y < 1$

を満足する数値、

で示すことができる材料を 10 ~ 300 nm の厚みに気相成長させて第 2 のバッファ層を得る工程と、

前記第 2 のバッファ層の上に 量子細線を有する 発光機能を得るための複数の窒化物系化合物半導体層を気相成長法によって形成する工程と

を有していることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、量子細線構造を有する半導体発光素子の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、化合物半導体の量子細線（数10nmの線状結晶）を利用して低しきい値の半導体レーザ等を製作する試みが精力的になされている。例えば、応用物理学会誌 第67巻 第7号 第776頁～785頁には、数度のオフ基板即ちミラ-指数で示す結晶の面方位から傾いた表面を有する基板構造のGaAs半導体基板上に、InGaAs系の量子細線を形成した赤外レーザが開示されている。同文献に記載された技術によれば、自己組織化機構を利用して基板表面の材料の多段原子ステップ面に量子細線を形成できる為、量子細線構造の半導体発光素子を容易に製作することができる。即ち、基板表面に形成された原子ステップ（結晶表面の原子面の段差）を利用して量子細線を形成できるため、フォトリソグラフィ-とエッチングを使用して量子細線を形成する従来の方法に比較して、量子細線構造を有する半導体レーザを生産性良く製作できる利点がある。

【0003】

【発明が解決使用とする課題】

しかし、窒化物系化合物半導体から成る発光機能層を備えた半導体発光素子を製作するためには、サファイアから成る基板材料の上に窒化物系化合物半導体領域を膜成長させる必要がある。サファイア基板上に、窒化物系化合物半導体領域を膜成長させるためには、一般的にサファイア基板上にアモルファス状の低温バッファ層を形成し、このバッファ層を介して発光機能層を構成する窒化物系化合物半導体領域を形成する。

【0004】

ところで、このアモルファス層は昇温中に結晶化し、このアモルファス層の上に積層形成される窒化物系化合物半導体層は結晶化したバッファ層の結晶方位を受け継いで膜成長される。即ち、積層される窒化物系化合物半導体層の方位や結晶性は、サファイア基板の影響よりも、アモルファス層が高温で結晶化した島状結晶の方位や結晶性の影響を大きく受ける。このため、上述のInGaAs系の量子細線のようにオフ基板を使用しても、低温バッファ層の結晶方位を受け継いでしまう為、自己組織化機構を利用した量子細線の形成が困難であった。

【0005】

そこで、本発明の目的は、自己組織化機構を利用した量子細線構造を有する窒化物系化合物半導体素子の製造法方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決し、上記目的を達成するための本発明は、一方の主面がミラ-指数で示す結晶面方位の(111)面から[110]方向又は[110]方向又は[112]方向又は[112]方向のいずれかに0.5～5度の角度で傾斜しているシリコン基板を用意する工程と、前記シリコン基板の一方の主面に、

化学式 $Al_xGa_{1-x}N$

ここで x は、 $0 < x < 1$

を満足する数値、

で示すことができる材料を0.5～10nmの厚みに気相成長させて第1のバッファ層（図1の第1の層12a）を得る工程と、

前記第1のバッファ層の上に

GaN又は化学式 $Al_yGa_{1-y}N$

10

20

30

40

50

ここで、 y は、 $y < x$
 $0 < y < 1$
 を満足する数値、

で示すことができる材料を $10 \sim 300 \text{ nm}$ の厚みに気相成長させて第 2 のバッファ層（図 1 の第 2 の層 12b）を得る工程と、

前記第 2 のバッファ層の上に量子細線を有する発光機能を得るための複数の窒化物系化合物半導体層を気相成長法によって形成する工程と
 を有していることを特徴とする半導体発光素子の製造方法に係るものである。

なお、本願発明においては、ミラ - 指数で示す結晶面方位の表記を簡単にするために、
 1 の反転を 1° 、2 の反転を 2° で示すこととする。

【0007】

【発明の効果】

本発明は次の効果を有する。

(イ) 一方の主面がミラ - 指数で示す結晶面方位の (111) 面から $[11\bar{1}0]$ 方向又は $[1\bar{1}10]$ 方向又は $[1\bar{1}1\bar{1}2]$ 方向又は $[112\bar{1}]$ 方向のいずれかに $0.5 \sim 5$ 度の角度で傾斜しているシリコン基板に、化学式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で示すことができる材料を $0.5 \sim 10 \text{ nm}$ の厚みに気相成長させて第 1 のバッファ層を得、次に GaN 又は化学式 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ で示すことができる材料を $10 \sim 300 \text{ nm}$ の厚みに気相成長させて第 2 のバッファ層を得、しかる後、発光機能を有する複数の窒化物系化合物半導体層を形成する。このため、シリコン基板の結晶方位を引き継いだバッファ層及び発光機能半導体層が得られる。即ち、シリコン基板がオフオリエンテ - ション基板であるので、シリコン基板の表面が原子ステップを有し、バッファ層及び発光機能半導体層も原子ステップを有し、量子細線が生じる。この結果、量子細線を有する発光機能半導体層を容易且つ良好に形成することができる。

(ロ) 第 1 のバッファ層と第 2 のバッファ層との積層から成るバッファ層を介して発光機能半導体層を形成すると、発光機能半導体層の結晶性が良くなる。

(ハ) 第 1 のバッファ層は $0.5 \sim 10 \text{ nm}$ の厚みに形成されているので量子力学的なトンネル効果を得ることができる。これにより、バッファ層の抵抗の増大を抑えることができる。

(二) シリコン基板と窒化物系化合物半導体から成る発光機能半導体層との熱膨張係数の差に起因する歪みの発生を抑制できる。即ち、シリコンの熱膨張係数と窒化物系化合物半導体の熱膨張係数とは大きく相違するため、両者を直接に積層すると熱膨張係数差に起因する歪みが発生し易い。しかし、第 1 のバッファ層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、ここで x は、 $0 < x < 1$ 満足する数値、で示すことができる材料からなり、この第 1 のバッファ層の熱膨張係数はシリコン基板の熱膨張係数と発光機能半導体層の熱膨張係数との中間値を有する。また、第 1 のバッファ層と第 2 のバッファ層との複合層から成るバッファ層の平均的な熱膨張係数はシリコン基板の熱膨張係数と発光機能半導体層の熱膨張係数との中間値を有する。このため、この第 1 及び第 2 のバッファ層によってシリコン基板と発光機能半導体層との熱膨張係数の差に起因する歪みの発生を抑制することができる。

【0008】

【第 1 の実施形態】

次に、図 1 及び図 2 を参照して本発明の 1 実施形態に係わる 3 - 5 族化合物半導体発光素子としての窒化ガリウム系化合物青色レ - ザダイオードを説明する。

【0009】

図 1 及び図 2 に示す本発明の実施形態に従う青色レ - ザダイオードは、発光機能を得るために複数の窒化ガリウム系化合物半導体層から成る半導体領域 10 と、シリコン半導体から成るサブストレート即ち基板 11 と、バッファ層 12 とを有している。発光機能を有する半導体領域 10 は、 GaN （窒化ガリウム）から成る第 1 の半導体層としての n 形半導体層 13、 p 形の InGaN （窒化ガリウム インジウム）から成る活性層 14、及び第 2 の半導体層としての GaN （窒化ガリウム）から成る p 形半導体層 15 とから成る。基

10

20

30

40

50

板11とバッファ層12と発光機能を有する半導体領域10との積層体から成る基体16の一方の正面(上面)即ちp形半導体層15の表面上に第1の電極としてのアノード電極17が配置され、この基体16の他方の正面(下面)即ち基板11の他方の正面に第2の電極としてのカソード電極18が配置されている。バッファ層12、n形半導体層13、活性層14、及びp形半導体層15は、基板11の上に順次にそれぞれの結晶方位を揃えてエピタキシャル成長させたものである。

【0010】

基板11は、導電形決定不純物としてAs(砒素)を含むn⁺形シリコン単結晶から成る。このシリコン基板11は低指數結晶面から小さな角度で傾斜させた表面を有するオフオリエンテーション基板である。具体的には、図3及び図5(A)に示すように基板11のバッファ層12が配置される側の正面11aは、ミラ-指數で示す結晶の面方位において(111)面から[110]方向に約5度傾斜させた面である。ここで1-は既に説明したよう1の反転を示す。従って、基板11の一方の正面11aは図3に概略的に示すように多数のステップとテラスとが交互に形成された表面(以下「多段ステップ面」という)を構成している。また、この基板11の不純物濃度は、5×10¹⁸cm⁻³~5×10¹⁹cm⁻³程度であり、この基板11の抵抗率は0.0001·cm~0.01·cm程度である。抵抗率が比較的低い基板11はアノード電極17とカソード電極18との間の電流通路として機能する。また、基板11は、比較的厚い約350μmの厚みを有し、p形半導体層15、活性層14及びn形半導体層13から成る発光機能を有する半導体領域10及びバッファ層12の支持体として機能する。

10

20

【0011】

基板11の一方の正面全体を被覆するように配置されたバッファ層12は、複数の第1の層12aと複数の第2の層12bとが交互に積層された複合層から成る。図1及び図2では、図示の都合上、バッファ層12が2つの第1の層12aと2つの第2の層12bとで示されているが、

実際には、バッファ層12は、10個の第1の層12aと10個の第2の層12bとを有する。

【0012】

第1の層12aは、



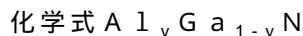
30

ここで、xは0<x<1を満足する任意の数値、

で示すことができる材料で形成される。即ち、第1の層12aは、AlN(窒化アルミニウム)又はAl_{1-x}Ga_xN(窒化ガリウムアルミニウム)で形成される。図1及び図2の実施形態では、前記式のxが1とされた材料に相当するAlN(窒化アルミニウム)が第1の層12aに使用されている。第1の層12aは、絶縁性を有する極薄い膜である。第1の層12aの格子定数及び熱膨張係数は第2の層12bよりもシリコン基板11に近い。従って、第1の層12aは第2の層12bよりもバッファ作用が大きい。

【0013】

第2の層12bは、GaN(窒化ガリウム)又は



40

ここで、yは、y<x及び0<y<1を満足する任意の数値、で示すことができる材料から成るn形半導体の極く薄い膜である。第2の層12bとしてA_{1-y}Ga_{1-y}Nから成るn形半導体を使用する場合には、第2の層12bの電気抵抗の増大を抑えるために、yを0<y<0.8を満足する値即ち0よりも大きく且つ0.8よりも小さくすることが望ましい。第2の層12bは第1の層12aの電気的接続導電体又は半導体として機能する。

【0014】

バッファ層12の第1の層12aの厚みは、好ましくは0.5nm~10nm即ち5~100オングストローム、より好ましくは1nm~8nmである。第1の層12aの厚みが0.5nm未満の場合にはバッファ層12の上面に形成されるn形半導体領域13の結晶性が良好に保てなくなる。第1の層12aの厚みが10nmを超えると、量子力学的トンネル効果

50

を良好に得ることができなくなり、バッファ層12の電気的抵抗が増大する。

【0015】

第2の層12bの厚みは、好ましくは5nm～2000nm即ち50～20000オングストロームであり、より好ましくは10nm～300nmである。第2の層12bの厚みが10nm未満の場合には、基板11と第2の層12bとの間のエネルギー-bandの不連続性が比較的大きくなり、発光素子の動作時のアノード電極17とカソード電極18との間の抵抗及び電圧Vfが比較的大きくなる。また、第2の層12bの厚みが10nm未満の場合には、第2の層12bの上に形成される一方の第1の層11aと第2の層12bの下に形成される他方の第1の層11aとの間の電気的接続が良好に達成されず、バッファ層12の電気的抵抗が増大する。第2の層12bの厚みが300nmを超えた場合には、バッファ層12全体に対する第1の層11aの割合が低下し、バッファ機能が相対的に小さくなり、半導体領域10の結晶性が良好に保てなくなる。10

【0016】

バッファ層12を構成する第1の層12aと第2の層12bは、いずれも基板11の一方の正面11aの表面状態を引き継いで形成される。このため、第1の層12a及び第2の層12bの表面は、多数のステップとテラスとが交互に形成された表面（以下「多段ステップ面」という）を構成している。結果として、バッファ層12の一方の正面は、基板11の一方の正面と同じ多段ステップ面となっている。ただし、バッファ層12の一方の正面におけるテラスの幅は、シリコン基板11の一方の正面におけるテラスの幅よりも小さいこともある。20

【0017】

バッファ層12の一方の正面には、厚み約0.2μmのn形GaNから成るn形半導体層13が形成されている。このn形半導体層13は、バッファ層12の一方の正面の表面状態を引き継いで形成されるため、その一方の正面は多数のステップとテラスとが交互に形成された表面（以下「多段ステップ面」という）を構成している。

【0018】

n形半導体層13の一方の正面には、厚み約2nm即ち20オングストロームのp形InGaNから成る活性層14が形成されている。この活性層14はn形半導体層13の一方の正面の表面状態を引き継いで形成されるため、その一方の正面は多数のステップとテラスとが交互に形成された表面（以下「多段ステップ面」という）を構成している。この結果、膜厚が2nm程度の薄い活性層14では、ステップ端を利用した多数の量子細線は形成されている。30

【0019】

活性層14の一方の正面には、厚み約0.2μmのp形GaNから成るp形半導体層15が形成されている。このp形半導体層15も、活性層14の一方の正面の表面状態を引き継いで形成されるため、その一方の正面には多数のステップとテラスとが交互に形成された表面（以下「多段ステップ面」という）を構成している。

【0020】

次に、図1の半導体発光の製造方法について説明する。

まず、図5(A)に示すn形不純物が導入されたn⁺形シリコン半導体から成る基板11を用意する。量子細線を形成するための基板11の一方の正面は、ミラ-指数で示す結晶の面方位において(111)面から[11-0]方向に5度傾斜させた面となっている。従って、基板11の一方の正面11aは、多段ステップ面となっている。40

【0021】

次に、図5(B)に示すように基板11の正面11a上にバッファ層12を形成する。このバッファ層12は、周知のMOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)即ち有機金属化学気相成長法によってAlNから成る第1の層12aとGaNから成る第2の層12bとを繰返して積層することによって形成する。即ち、シリコン単結晶の基板11をMOCVD装置の反応室内に配置し、まず、サーマルアニーリングを施して表面の酸化膜を除去する。次に、反応室内にTMA(トリメチルアルミニウム)ガスとNH₃50

₃ (アンモニア) ガスを約 24 秒間供給して、基板 11 の一方の正面に厚さ約 5 nm の A 1 N 層から成る第 1 の層 12a を形成する。本実施例では基板 11 の加熱温度を 1120

とした後に、TMA ガスの流量即ち A 1 の供給量を約 63 μmol / min、NH₃ ガスの流量即ち NH₃ の供給量を約 0.14 mol / min とした。続いて、基板 11 の加熱温度を 1120 とし、TMA ガスの供給を止めてから反応室内に TMG (トリメチルガリウム) ガスと NH₃ (アンモニア) ガスと SiH₄ (シラン) ガスを約 83 秒間供給して、基板 11 の一方の正面に形成された上記 A 1 N から成る第 1 の層 12a の上面に、厚さ約 30 nm の n 形の GaN から成る第 2 の層 12b を形成する。ここで、SiH₄ ガスは形成膜中に n 形不純物としての Si を導入するためのものである。本実施例では、TMG ガスの流量即ち Ga の供給量を約 63 μmol / min、NH₃ ガスの流量即ち NH₃ の供給量を約 0.14 mol / min、SiH₄ ガスの流量即ち Si の供給量を約 21 nmol / min とした。本実施例では、上述の A 1 N から成る第 1 の層 12a と GaN から成る第 2 の層 12b の形成を 10 回繰り返して A 1 N から成る第 1 の層 12a と GaN から成る第 2 の層 12b とが交互に 20 層積層されたバッファ層 12 を形成する。勿論 A 1 N から成る第 1 の層 12a、GaN から成る第 2 の層 12b をそれぞれ 50 層等の任意の数に変えることもできる。第 1 の層 12a と第 2 の層 12b は、基板 11 の一方の正面の表面状態を引き継いで膜成長するため、バッファ層 12 の一方の正面は多段ステップ面となっている。

【0022】

次に、バッファ層 12 の上面に周知の MOCVD 法によって n 形半導体層 13、活性層 14 及び p 形半導体層 15 を順次連続して形成する。

即ち、上面にバッファ層 12 が形成された基板 11 を MOCVD 装置の反応室内に配置して、反応室内にまずトリメチルガリウムガス即ち TMG ガス、NH₃ (アンモニア) ガス、SiH₄ (シラン) ガスを供給してバッファ層 12 の上面に n 形半導体領域 13 を形成する。ここで、シランガスは n 形半導体層 13 中に n 形不純物としての Si を導入するためのものである。本実施例ではバッファ層 12 が形成された基板 11 の加熱温度を 1040 とした後、TMG ガスの流量即ち Ga の供給量を約 4.3 μmol / min、NH₃ ガスの流量即ち NH₃ の供給量を約 53.6 mmol / min、シランガスの流量即ち Si の供給量を約 1.5 nmol / min とした。また、本実施例では、n 形半導体層 13 の厚みを約 0.2 μm とした。従来の一般的発光ダイオードの場合には、n 形半導体層の厚みが約 4.0 ~ 5.0 μm であるから、これに比べて図 1 の本実施例の n 形半導体層 13 はかなり肉薄に形成されている。また、n 形半導体層 13 の不純物濃度は約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、基板 11 の不純物濃度よりは十分に低い。尚、本実施例によればバッファ層 12 が介在しているので、1040 のような比較的高い温度で n 形半導体層 13 を形成することが可能になる。この n 形半導体層 13 もバッファ層 12 の一方の正面状態を受け継いで膜成長するため、その一方の正面は多段ステップ面となっている。

【0023】

続いて、基板 11 の加熱温度を 800 とし、反応室内に TMG ガス、アンモニアガスに加えてトリメチルインジウムガス (以下、TMI ガスという) とビスシクロペンタジエニルマグネシウムガス (以下、Cp₂Mg ガスという。) を供給して n 形半導体層 13 の上面に p 形 InGaN (窒化インジウム ガリウム) から成る活性層 14 を形成する。ここで、Cp₂Mg ガスは活性層 14 中に p 形導電形の不純物としての Mg (マグネシウム) を導入するためのものである。本実施例では、TMG ガスの流量を約 1.1 μmol / min、NH₃ ガスの流量を約 67 mmol / min、TMI ガスの流量即ち In の供給量を約 4.5 μmol / min、Cp₂Mg ガスの流量即ち Mg の供給量を約 12 nmol / min とした。また、活性層 14 の厚みは約 2 nm 即ち 20 オングストロームとした。なお、活性層 14 の不純物濃度は約 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。活性層 14 は、この下側の n 形半導体層 13 又はバッファ層 12 を介して基板 11 の一方の正面の表面状態を引き継いで形成される。このため、活性層 14 の一方の正面は、多数のステップと多数のテラスとが交互に形成された多段ステップ面を構成している。

10

20

30

40

50

【0024】

続いて、基板11の加熱温度を1040とし、反応室内にTMGガス、アンモニアガス及びCp₂Mgガスを供給して活性層14の上面にp形GaN（窒化ガリウム）から成るp形半導体層15を形成する。本実施例では、この時のTMGガスの流量を約4.3μmol/min、アンモニアガスの流量を約53.6μmol/min、Cp₂Mgガスの流量を約0.12μmol/minとした。また、p形半導体層15の厚みは約0.2μmとした。なお、p形半導体層15の不純物濃度は約3×10¹⁸cm⁻³である。このp形半導体層15の一方の正面も多段ステップ面となる。

【0025】

上記のMOCVD成長方法によれば、シリコン単結晶から成る基板11の結晶方位を良好に引き継いでいるバッファ層12を形成することができる。また、バッファ層12の結晶方位に対してn形半導体層13、活性層14及びp形半導体層15の結晶方位を揃えることができる。この結果、良好な結晶性を有し、且つ基板11の多段ステップ面を良好に引き継いだn形半導体13、活性層14及びp形半導体層15が得られる。

10

【0026】

第1の電極としてのアノード電極17は、例えばニッケルと金を周知の真空蒸着法等によつて半導体基体16の上面即ちp形半導体層15の上面に付着させることによって形成し、p形半導体層15の表面に低抵抗接触させる。このアノード電極17は図2に示すように円形の平面形状を有しており、半導体基体16の上面のほぼ中央に配置されている。半導体基体16の上面のうち、アノード電極17の形成されていない領域19は、光取り出し領域として機能する。

20

【0027】

第2の電極としてのカソード電極18は、n形半導体層13に形成せずに、例えばチタンとアルミニウムを周知の真空蒸着法等によって基板11の下面全体に形成する。

【0028】

図1の青色発光ダイオードを外部装置に取付ける時には、例えばカソード電極18を回路基板等の外部電極に対して半田又は導電性接着剤で固着し、アノード電極17を周知のワイヤボンディング方法によって外部電極に対してワイヤで電気的に接続する。

【0029】

本実施形態の青色レーザダイオードによれば、次の効果が得られる。

30

(1) 基板11の一方の正面に形成された格子定数がシリコンとGaNとの間の値を有するAINから成る第1の層12aは、シリコンから成る基板11の結晶方位を良好に引き継ぐことができる。この結果、バッファ層12の一方の正面に、n形半導体層13、活性層14及びp形半導体層15からなるGaN系半導体領域10を結晶方位を揃えて良好に形成することができる。このため、GaN系半導体領域10の特性が良くなり、発光特性も良くなる。また、GaN系半導体領域10はオフ基板11のステップ表面を引き継ぐので多段ステップなり、量子細線を容易且つ良好に得ることができ、低しきい値のレーザダイオードを容易に得ることができる。

(2) 第1の層12aと第2の層12bが複数積層されて成るバッファ層12を介して半導体領域10を形成すると、半導体領域10の結晶性が良くなる。即ち、シリコンから成る基板11の一方の正面に、もしGaN半導体層のみによって構成されたバッファ層を形成した場合、シリコンとGaNとは格子定数の差が大きいため、このバッファ層の上面に結晶性に優れたGaN系半導体領域を形成することはできない。また、比較的厚いAINのみでバッファ層を形成すると、バッファ層の抵抗が大きくなる。また、比較的薄いAINのみでバッファ層を形成すると、十分なバッファ機能が得られない。これに対し、本実施例では、基板11とGaN系半導体領域10との間にシリコンとの格子定数差が比較的小さいAINから成る複数の第1の層12aが介在し、且つ第1の層12aの相互間に第2の層12bが介在した複合構造のバッファ層12が設けられている。このため、バッファ層12の上に結晶性の良いGaN系半導体領域10を形成することができる。この結果、GaN系半導体領域10の発光特性が良くなる。

40

50

(3) バッファ層12に含まれている複数の第1の層12aのそれぞれが量子力学的なトンネル効果の生じる厚さに設定されているので、バッファ層12の抵抗の増大を抑えることができる。

(4) 基板11とGaN系半導体領域10との熱膨張係数の差に起因する歪みの発生を抑制できる。即ち、シリコンの熱膨張係数とGaNの熱膨張係数とは大きく相違するため、両者を直接に積層すると熱膨張係数差に起因する歪みが発生し易い。しかし、本実施例のA1Nからなる第1の層12aの熱膨張係数は基板11の熱膨張係数とGaN系半導体領域10の熱膨張係数との中間値を有する。また、第1の層12aと第2の層12bとの複合層から成るバッファ層12の平均的な熱膨張係数は基板11の熱膨張係数とGaN系半導体領域10の熱膨張係数との中間値を有する。このため、このバッファ層12によって基板11とGaN半導体領域10との熱膨張係数の差に起因する歪みの発生を抑制することができる。10

【0030】

【変形例】

本発明は上述の実施形態に限定されるものでなく、例えば次の変形が可能なものである。

(1) 半導体基体16の各層の導電形を実施例と逆にすることができる。

(2) n形半導体層13、活性層14及びp形半導層15のそれぞれを、複数の半導体層の組み合せで構成することができる。

(3) n形半導体層13、活性層14及びp形半導層15のそれぞれの材料を、GaN (窒化ガリウム)、AlInN (窒化インジウム アルミニウム)、AlGaN (窒化ガリウム アルミニウム)、InGaN (窒化ガリウム インジウム)、及びAlInGaN (窒化ガリウム インジウム アルミニウム)から選択された窒化ガリウム系化合物半導体又は窒化インジウム系化合物半導体とすることができます。20

(4) n形半導体層13を省いてバッファ層12の上にGaNから成る活性層14を直接に接觸させることができる。これにより、肉厚のAlGaNクラッド層を介在させて活性層14を形成する場合に比較して活性層14に加わる引っ張り応力が緩和される。このため、活性層14の結晶性が良好となり、発光素子の発光特性が更に良好に得られる。

(5) アノ-ド電極17の下にオ-ミックコンタクトのためのP⁺形半導体領域即ちコンタクト層を設けることができる。また、p形半導体領域15とアノ-ド電極17との間に周知の電流拡散層、電流ブロック層を設けることができる。30

(6) アノ-ド電極17を透明電極とパット電極との組み合せとで構成することができる。

(7) バッファ層12の第1の層12aの数を第2の層12bよりも1層多くしてバッファ層12の最上層を第1の層12aとすることができます。また、逆に第2の層12bの数を第1の層12aの数よりも1層多くすることもできる。

(8) 第1の層12a及び第2の層12bは、これらの機能を阻害しない範囲で不純物を含むものであってもよい。

(9) 基板11を、単結晶シリコン以外の多結晶シリコン又はSiC等のシリコン化合物とすることができます。40

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施形態に従うのレ-ザダイオードを示す中央縦断面図である。

【図2】図1のレ-ザダイオードの斜視図である。

【図3】図1の基板の表面を拡大して概略的に示す斜視図である。

【図4】図2の一部を拡大して量子細線を概略的に示す斜視図である。

【図5】図1のレ-ザダイオードの構造を製造工程順に拡大して示す断面図である。

【符号の説明】

10 GaN系半導体領域

11 シリコン単結晶から成る基板

12 バッファ層

10

20

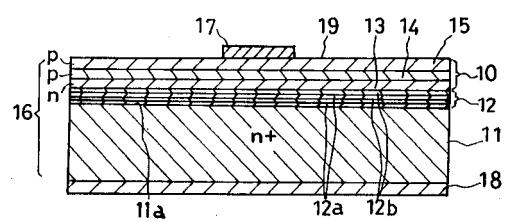
30

40

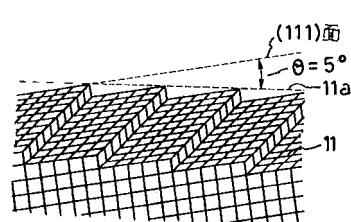
50

- 1 2 a A 1 N から成る第 1 の層
- 1 2 b G a N から成る第 2 の層
- 1 3 n 形半導体層
- 1 4 活性層
- 1 5 p 形半導体層
- 1 6 基体
- 1 8 アノード電極
- 1 9 カソード電極

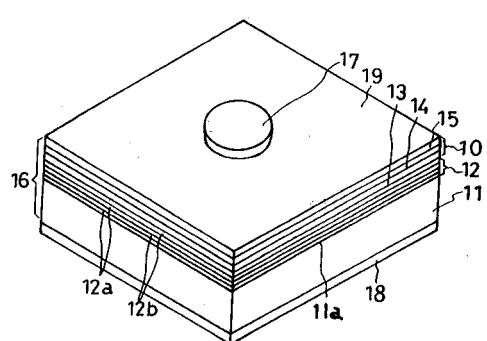
【図 1】



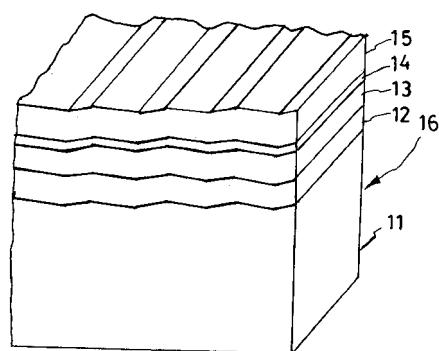
【図 3】



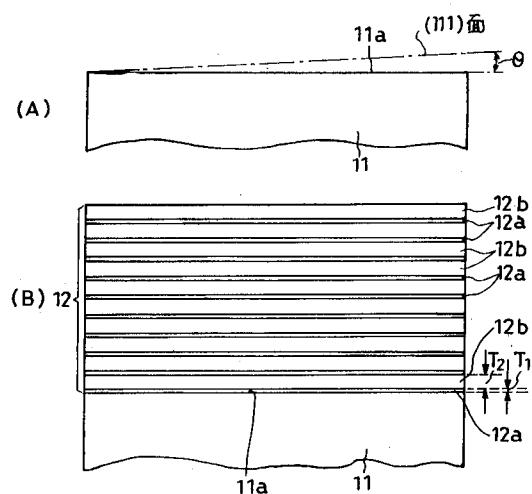
【図 2】



【図 4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 江川 孝志
愛知県名古屋市昭和区御器所町(番地なし) 名古屋工業大学内
(72)発明者 石川 博康
愛知県名古屋市昭和区御器所町(番地なし) 名古屋工業大学内
(72)発明者 神保 孝志
愛知県名古屋市昭和区御器所町(番地なし) 名古屋工業大学内

審査官 高椋 健司

(56)参考文献 特開平11-074562(JP,A)
特開平09-270569(JP,A)
特開2000-040858(JP,A)
特開平11-097803(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00
H01S 5/00-5-50