

(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 I

H O 1 L 33/00 (2006.01)

H O 1 L 33/00 C

H O 1 L 21/205 (2006.01)

H O 1 L 21/205

H O 1 S 5/343 (2006.01)

H O 1 S 5/343 G 1 O

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 空 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 (1 1 1) 面から [1 1 0] 方向又は [1 1 0] 方向又は [1 1 2] 方向又は [1 1 2] 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 ~ 1 0 n m 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、

前記第 1 のバッファ層の上に

G a N 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 1 0 ~ 3 0 0 n m 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

10

20

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[11 $\bar{0}$]方向又は[1 $\bar{1}$ 0]方向又は[1 $\bar{1}$ $\bar{2}$]方向又は[112 $\bar{}$]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^- で示すことにする。

【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 $[11^-0]$ 方向又は $[1^-10]$ 方向又は $[1^-1^-2]$ 方向又は $[112^-]$ 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。

(ニ) 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の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 1 1 とバッファ層 1 2 と発光機能を有する半導体領域 1 0 との積層体から成る基板 1 6 の一方の主面（上面）即ち p 形半導体層 1 5 の表面上に第 1 の電極としてのアノード電極 1 7 が配置され、この基板 1 6 の他方の主面（下面）即ち基板 1 1 の他方の主面に第 2 の電極としてのカソード電極 1 8 が配置されている。バッファ層 1 2、n 形半導体層 1 3、活性層 1 4、及び p 形半導体層 1 5 は、基板 1 1 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 1 1 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 1 1 は低指数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 1 1 のバッファ層 1 2 が配置される側の主面 1 1 a は、ミラ - 指数で示す結晶の面方位において (111) 面から [11 $\bar{0}$] 方向に約 5 度傾斜させた面である。ここで $\bar{1}$ は既に説明したような 1 の反転を示す。従って、基板 1 1 の一方の主面 1 1 a 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 1 1 の不純物濃度は、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であり、この基板 1 1 の抵抗率は $0.0001 \sim 0.01 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ 程度である。抵抗率が比較的低い基板 1 1 はアノード電極 1 7 とカソード電極 1 8 との間の電流通路として機能する。また、基板 1 1 は、比較的厚い約 $350 \mu\text{m}$ の厚みを有し、p 形半導体層 1 5、活性層 1 4 及び n 形半導体層 1 3 から成る発光機能を有する半導体領域 1 0 及びバッファ層 1 2 の支持体として機能する。

【0011】

基板 1 1 の一方の主面全体を被覆するように配置されたバッファ層 1 2 は、複数の第 1 の層 1 2 a と複数の第 2 の層 1 2 b 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 1 2 が 2 つの第 1 の層 1 2 a と 2 つの第 2 の層 1 2 b とで示されているが、実際には、バッファ層 1 2 は、10 個の第 1 の層 1 2 a と 10 個の第 2 の層 1 2 b とを有する。

【0012】

第 1 の層 1 2 a は、

化学式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$

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 1 2 a は、AlN (窒化アルミニウム) 又は $\text{AlGa}_{1-x}\text{N}$ (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 1 2 a に使用されている。第 1 の層 1 2 a は、絶縁性を有する極薄い膜である。第 1 の層 1 2 a の格子定数及び熱膨張係数は第 2 の層 1 2 b よりもシリコン基板 1 1 に近い。従って、第 1 の層 1 1 a は第 2 の層 1 2 b よりもバッファ作用が大きい。

【0013】

第 2 の層 1 2 b は、 Ga_{1-y}N (窒化ガリウム) 又は

化学式 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$

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 1 2 b として $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ から成る n 形半導体を使用する場合には、第 2 の層 1 2 b 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 1 2 b は第 1 の層 1 2 a の電氣的接続導電体又は半導体として機能する。

【0014】

バッファ層 1 2 の第 1 の層 1 2 a の厚みは、好ましくは $0.5 \text{ nm} \sim 10 \text{ nm}$ 即ち $5 \sim 100$ オングストロム、より好ましくは $1 \text{ nm} \sim 8 \text{ nm}$ である。第 1 の層 1 2 a の厚みが 0.5 nm 未満の場合にはバッファ層 1 2 の上面に形成される n 形半導体領域 1 3 の結晶性が良好に保てなくなる。第 1 の層 1 2 a の厚みが 10 nm を超えると、量子力学的トンネル効果

10

20

30

40

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 5 nm ~ 2000 nm 即ち 50 ~ 20000 オングストロームであり、より好ましくは 10 nm ~ 300 nm である。第2の層 12b の厚みが 10 nm 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バンド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 V_f が比較的大きくなる。また、第2の層 12b の厚みが 10 nm 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 300 nm 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 の一方の主面 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 の一方の主面は、基板 11 の一方の主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 の一方の主面におけるテラスの幅は、シリコン基板 11 の一方の主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 の一方の主面には、厚み約 0.2 μm 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 の一方の主面の表面状態を引き継いで形成されるため、その一方の主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 の一方の主面には、厚み約 2 nm 即ち 20 オングストロームの p 形 InGa_{0.99}N 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 の一方の主面の表面状態を引き継いで形成されるため、その一方の主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 2 nm 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 の一方の主面には、厚み約 0.2 μm 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 の一方の主面の表面状態を引き継いで形成されるため、その一方の主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 の一方の主面は、ミラ - 指数で示す結晶の面方位において (111) 面から [11 $\bar{0}$] 方向に 5 度傾斜させた面となっている。従って、基板 11 の一方の主面 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 の主面 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 NH

50

3 (アンモニア)ガスを約24秒間供給して、基板11の一方の主面に厚さ約5nmのAlN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Alの供給量を約63 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、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の一方の主面に形成された上記AlNから成る第1の層12aの上面に、厚さ約30nm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 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、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AlN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AlN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AlN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の一方の主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の一方の主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 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、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の一方の主面状態を受け継いで膜成長するため、その一方の主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ェ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 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、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 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、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2nm即ち20オングストロムとした。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の一方の主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の一方の主面は、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。

【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 Cp_2Mg 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 $4.3\mu\text{mol}/\text{min}$ 、アンモニアガスの流量を約 $53.6\mu\text{mol}/\text{min}$ 、 Cp_2Mg ガスの流量を約 $0.12\mu\text{mol}/\text{min}$ とした。また、p形半導体層15の厚みは約 $0.2\mu\text{m}$ とした。なお、p形半導体層15の不純物濃度は約 $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ である。このp形半導体層15の一方の主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って半導体基体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氣的に接続する。

【0029】

本実施形態の青色レザダイオードによれば、次の効果が得られる。

30

(1) 基板11の一方の主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AlN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の一方の主面に、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の一方の主面に、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AlN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AlN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AlN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 12 a 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 AlN からなる第 1 の層 12 a 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 12 a と第 2 の層 12 b 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

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わ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)、AlGaInN (窒化ガリウム アルミニウム インジウム)、及び AlInGaInN (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る。

20

(4) n 形半導体層 13 を省いてバッファ層 12 の上に GaInN から成る活性層 14 を直接に接触させることができる。これにより、肉厚の AlGaInN 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) アノード電極 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 とアノード電極 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) アノード電極 17 を透明電極とパッド電極との組み合わ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 12 a の数を第 2 の層 12 b よりも 1 層多くしてバッファ層 12 の最上層を第 1 の層 12 a とすることができる。また、逆に第 2 の層 12 b の数を第 1 の層 12 a の数よりも 1 層多くすることもできる。

(8) 第 1 の層 12 a 及び第 2 の層 12 b 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る。

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

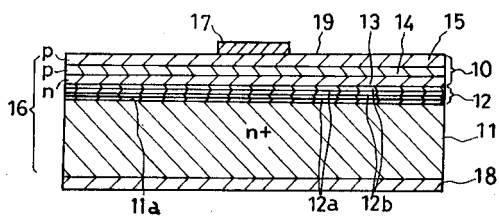
11 シリコン単結晶から成る基板

12 バッファ層

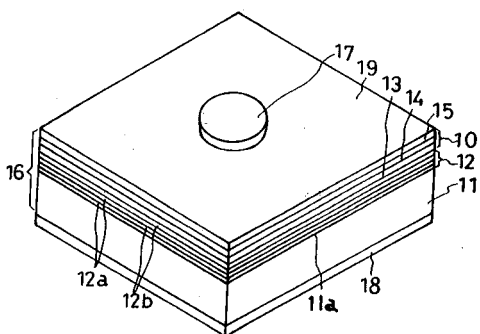
50

- 12 a AlNから成る第1の層
- 12 b GaNから成る第2の層
- 13 n形半導体層
- 14 活性層
- 15 p形半導体層
- 16 基体
- 18 アノード電極
- 19 カソード電極

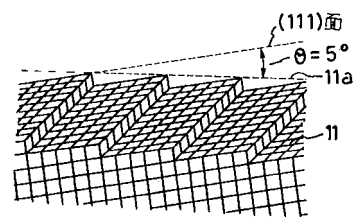
【図1】



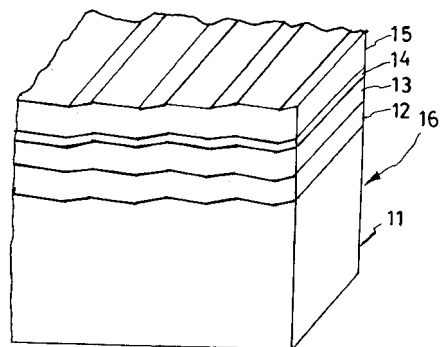
【図2】



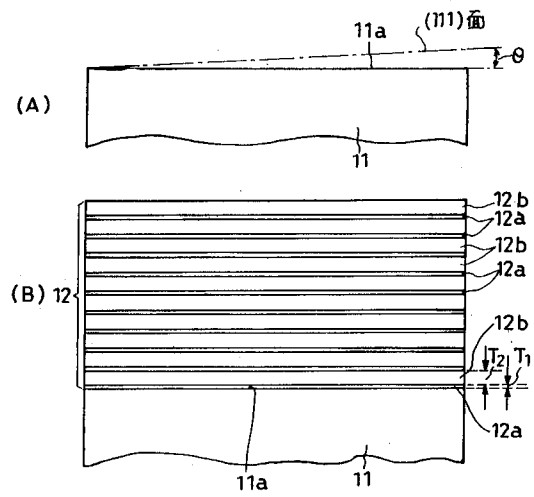
【図3】



【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 高橋 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