

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4058595号  
(P4058595)

(45) 発行日 平成20年3月12日(2008.3.12)

(24) 登録日 平成19年12月28日(2007.12.28)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 33/00 (2006.01)  
H01L 21/205 (2006.01)H01L 33/00  
H01L 21/205

C

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-248738 (P2001-248738)  
 (22) 出願日 平成13年8月20日 (2001.8.20)  
 (65) 公開番号 特開2003-60234 (P2003-60234A)  
 (43) 公開日 平成15年2月28日 (2003.2.28)  
 審査請求日 平成16年9月27日 (2004.9.27)

前置審査

(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  
 (74) 代理人 100072154  
 弁理士 高野 則次  
 (72) 発明者 大塚 康二  
 埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケン電気株式会社内  
 (72) 発明者 李 哲次  
 埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケン電気株式会社内  
 審査官 檜本 英吾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体発光素子及びその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

窒化物系化合物半導体を有する半導体発光素子であって、  
 不純物を含むシリコンから成り且つ低い抵抗率を有している基板と、  
 前記基板の一方の主面上に配置され、 $A_{1-x}G_{a_{1-x}}N$  (但し、 $x$  は  $0 < x < 1$  を満足する数値である。) から成り且つ量子力学的なトンネル効果が生じる  $1 \sim 8 \text{ nm}$  の厚みを有している第1の層と  $GaN$  又は  $A_{1-y}G_{a_{1-y}}N$  (但し、 $y$  は  $y < x$  及び  $0 < y < 1$  を満足する数値である。) から成り且つ前記第1の層よりも厚い  $10 \text{ nm} \sim 300 \text{ nm}$  の厚みを有している第2の層とを交互に複数回繰り返して配置した複合層から成るバッファ層と、

発光機能を得るために前記バッファ層の上に配置された複数の窒化物系化合物層を含んでいる半導体領域と、

前記半導体領域の表面上に配置された第1の電極と、

前記基板の他方の主面上に配置された第2の電極と  
 を備えていることを特徴とする半導体発光素子。

## 【請求項 2】

前記第2の層はn形不純物としてシリコンを含むことを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

## 【請求項 3】

前記半導体領域の前記複数の窒化物系化合物半導体層のそれぞれは、 $GaN$  (窒化ガリウム) 層、 $AlInN$  (窒化インジウム アルミニウム) 層、 $AlGaN$  (窒化ガリウム

10

20

アルミニウム)層、InGaN(窒化ガリウム インジウム)層、及びAlInGaN(窒化ガリウム インジウム アルミニウム)層から選択されたものであることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体発光素子。

【請求項4】

前記半導体領域は、

前記バッファ層の上に配置された窒化物系化合物半導体から成る第1の導電形の第1の半導体層と、

前記第1の半導体層の上に配置された窒化物系化合物半導体から成る活性層と、

前記活性層の上に配置された窒化物系化合物半導体から成り且つ前記第1の導電形と反対の第2の導電形を有している第2の半導体層と

10

を備えていることを特徴とする請求項1又は2又は3記載の半導体発光素子。

【請求項5】

窒化物系化合物半導体を有する半導体発光素子の製造方法であって、

不純物を含み且つ低い抵抗率を有しているシリコンから成る基板を用意する工程と、

前記基板上に、気相成長法によって  $Al_xGa_{1-x}N$  (但し、 $x$ は、 $0 < x < 1$ を満足する数値である。)から成り、且つ量子力学的トンネル効果が生じる 1 ~ 8 nm の厚みを有している第1の層と、 $GaN$  又は  $Al_yGa_{1-y}N$  (但し  $y$  は、 $y < x$  及び  $0 < y < 1$ を満足する数値である。)から成り且つ前記第1の層よりも厚い 10 nm ~ 300 nm の厚みを有している第2の層とを交互に複数回繰り返して形成してバッファ層を得る工程と、

前記バッファ層上に、発光機能を得るための複数の窒化物系化合物層から成る半導体領域を気相成長法で形成する工程と、

20

前記半導体領域の表面上に第1の電極を形成し、前記基板の他方の主面に第2の電極を形成する工程と

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】

本発明は窒化物系化合物半導体を用いた半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

30

$GaN$ (窒化ガリウム)、 $GaAlN$ (窒化ガリウム アルミニウム)、 $InGaN$ (窒化インジウム ガリウム)、 $InGaAlN$ (窒化インジウム ガリウム アルミニウム)等の窒化ガリウム系化合物半導体を用いた例えば青色発光ダイオード等の半導体発光素子は公知である。

従来の典型的な発光素子は、サファイアから成る絶縁性基板、この絶縁性基板の一方の主面(上面)に形成された例えば日本の特開平4-297023号公報に開示されて  $Ga_xAl_{1-x}N$  (但し、 $x$ は  $0 < x < 1$ の範囲の数値である。)から成るバッファ層、このバッファ層の上にエピタキシャル成長によって形成された窒化ガリウム系化合物半導体(例えば  $GaN$ )から成るn形半導体領域、このn形半導体領域の上にエピタキシャル成長法によって形成された窒化ガリウム系化合物半導体(例えば  $InGaN$ )から成る活性層、及びこの活性層の上にエピタキシャル成長法によって形成されたp形半導体領域を備えている。カソード電極はn形半導体領域に接続され、アノード電極はp形半導体領域に接続されている。

40

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、発光素子は、周知のように多数の素子の作り込まれたウエハをダイシング、スクライピング、劈開(cleavage)等によって切り出して製作される。この時、サファイアから成る絶縁性基板は硬度が高いため、このダイシングを良好に且つ生産性良く行うことが困難であった。また、サファイアは高価であるため、発光素子のコストが高くなつた。また、サファイアから成る基板は絶縁体であるため、カソード電極を基板に形成すること

50

ができなかった。このため、n形半導体領域の一部を露出させ、ここにカソ-ド電極を接続することが必要になり、半導体基体の面積即ちチップ面積が比較的大きくなり、その分発光素子のコストが高くなつた。また、サファイア基板を使用した従来の発光素子では、n形半導体領域の垂直方向のみならず、水平方向即ちサファイア基板の正面に沿う方向にも電流が流れる。このn形半導体領域の水平方向の電流が流れる部分の厚みは4~5μm程度と極めて薄いため、n形半導体領域の水平方向の電流通路の抵抗はかなり大きなものとなり、消費電力及び動作電圧の増大を招いた。更に、このn形半導体領域のカソ-ド電極の接続部分を露出させるために活性層及びp形半導体領域をエッティングによって削り取ることが必要になり、エッティングの精度を考慮してn形半導体領域は予め若干肉厚に形成しておく必要があった。このためn形半導体領域のエピタキシャル成長の時間が長くなり、生産性が低かった。

また、サファイア基板の代りにシリコンカーバイド(SiC)から成る導電性基板を用いた発光素子が知られている。この発光素子においては、カソ-ド電極を導電性基板の下面に形成できる。このため、サファイア基板を使用した発光素子に比べて、SiC基板を使用した発光素子は、チップ面積の縮小が図られること、劈開によりウエハの分離が簡単化する等の利点はある。しかし、SiCはサファイアよりも一段と高価であるため発光素子の低コスト化が困難である。また、SiC基板の上にn形半導体領域を低抵抗接触させることができ難であり、この発光素子の消費電力及び動作電圧がサファイア基板を使用した発光素子と同様に比較的高くなつた。

#### 【0004】

そこで、本発明の目的は、生産性及び性能の向上及びコストの低減を図ることができる半導体発光素子及びその製造方法を提供することにある。

#### 【0005】

##### 【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、窒化物系化合物半導体を有する半導体発光素子であつて、不純物を含むシリコンから成り、且つ低い抵抗率を有している基板と、前記基板の一方の主面上に配置され、 $Al_xGa_{1-x}N$ （但し、 $x$ は $0 < x < 1$ を満足する数値である。）から成り且つ量子力学的トンネル効果が生じる $1~8\text{ nm}$ の厚みを有している第1の層と、 $GaN$ 又は $Al_yGa_{1-y}N$ （但し、 $y$ は $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する数値である。）から成り且つ前記第1の層よりも厚い $10\text{ nm}~\sim~300\text{ nm}$ の厚みを有している第2の層とを交互に複数回繰り返して配置した複合層から成るバッファ層と、発光機能を得るために前記バッファ層の上に配置された複数の窒化物系化合物層を含んでいる半導体領域と、前記半導体領域の表面上に配置された第1の電極と、前記基板の他方の主面上に配置された第2の電極とを備えていることを特徴とする半導体発光素子に係るものである。

なお、前記第2の層の材料を、化学式 $Al_yGa_{1-y}N$ （但し、 $y$ は $y < x$ 及び $0 < y < 1$ を満足する数値である。）で表すこともできる。この化学式において、 $y$ が0の場合に前記第2の層は $GaN$ になる。

#### 【0006】

なお、請求項2に示すように、前記第2の層はn形不純物としてシリコンを含むことが望ましい。

また、請求項3に示すように、前記半導体領域の前記複数の窒化物系化合物半導体層のそれぞれは、 $GaN$ （窒化ガリウム）層、 $AlInN$ （窒化インジウム アルミニウム）層、 $AlGaN$ （窒化ガリウム アルミニウム）層、 $InGaN$ （窒化ガリウム インジウム）層、及び $AlInGaN$ （窒化ガリウム インジウム アルミニウム）層から選択されたものであることが望ましい。

また、請求項4に示すように、前記半導体領域は、前記バッファ層の上に配置された窒化物系化合物半導体から成る第1の導電形の第1の半導体層と、前記第1の半導体層の上に配置された窒化物系化合物半導体から成る活性層と、前記活性層の上に配置された窒化物系化合物半導体から成り且つ前記第1の導電形と反対の導電形を有している第2の半導

10

20

30

40

50

体層とを備えていることが望ましい。

また、請求項5に示すように、窒化物系化合物半導体を有する半導体発光素子の製造方法において、不純物を含み且つ低い抵抗率を有しているシリコンから成る基板を用意する工程と、前記基板上に、気相成長法によって  $Al_xGa_{1-x}N$  (但し、 $x$ は、 $0 < x < 1$ を満足する数値である。) から成り且つ量子力学的トンネル効果が生じる  $1 \sim 8 \text{ nm}$  の厚みを有している第1の層と、 $GaN$  又は  $Al_yGa_{1-y}N$  (但し  $y$  は、 $y < x$  及び  $0 < y < 1$  を満足する数値である。) から成り且つ前記第1の層よりも厚い  $10 \text{ nm} \sim 300 \text{ nm}$  の厚みを有している第2の層とを交互に複数回繰り返して形成してバッファ層を得る工程と、前記バッファ層上に、発光機能を得るための複数の窒化物系化合物層から成る半導体領域を気相成長法で形成する工程と、前記半導体領域の表面上に第1の電極を形成し、前記基板の他方の主面に第2の電極を形成する工程とを有していることが望ましい。

【0007】

#### 【発明の効果】

各請求項の発明によれば次の効果が得られる。

(1) 基板が比較的安価なシリコンであるので、発光素子のコストを低減できる。  
(2)  $Al_xGa_{1-x}N$  (但し、 $x$ は、 $0 < x < 1$ を満足する数値である。) から成る第1の層の格子定数は、発光機能を得るための窒化物系化合物半導体の格子定数よりもシリコンの格子定数に近い値を有する。従ってバッファ層に第1の層を含めると、バッファ機能が良くなり、発光機能を有する窒化物系化合物半導体層の結晶性及び平坦性を改善することができる。ところで、もし、この第1の層が厚いとバッファ層の抵抗値が高くなりバッファ層を介して電流を流すことができなくなる。しかし、本発明では第1の層が量子力学的なトンネル効果が生じる  $1 \sim 8 \text{ nm}$  の厚みに形成されているので、電流通路となり得る。

(3) トンネル効果が得られるように第1の層を  $1 \sim 8 \text{ nm}$  に形成すると、第1の層のみでは十分なバッファ機能を得ることができない。この問題を解決するために本発明においては、第1の層の他に  $GaN$  又は  $Al_yGa_{1-y}N$  から成り且つ第1の層よりも厚い  $10 \sim 300 \text{ nm}$  を有する第2の層が形成されている。この結果、第1及び第2の層の複合層からなるバッファ層は、良好なバッファ機能を発揮し、シリコンから成る基板の結晶方位を良好に引き継いだ発光用半導体領域の形成が可能になり、結晶性及び平坦性が良い発光用半導体領域が得られる。要するに、本発明に従う第1の層と第2の層との組み合せによって全体として電気的抵抗が小さく且つ良好なバッファ機能を有するバッファ層が得られ、この結果として、発光用半導体領域の平坦性及び発光特性が改善される。もし、シリコンから成る基板の一方の主面に、 $GaN$  半導体層のみから成る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為、このバッファ層の上面に平坦性に優れた窒化物系化合物半導体領域を形成することができない。

(4) バッファ層が導電性を有するので、第1及び第2の電極は互いに対向するように配置することができる。この結果、第1及び第2の電極間の電流通路の抵抗値を下げて消費電力及び動作電圧を小さくすることができる。

(5) バッファ層の内の少なくとも第1の層は  $Al$  を含む。 $Al$  を含む第1の層の熱膨張係数はシリコンから成る基板の熱膨張係数と  $GaN$  系化合物半導体から成る発光用半導体領域の熱膨張係数との中間の値を有する。従って、バッファ層は基板と発光用半導体領域との熱膨張係数の差に起因する歪の発生を比較的良好に抑制する。

(6) 第1の層の厚みが  $1 \sim 8 \text{ nm}$  の範囲に設定され、且つ第2の層の厚みが  $10 \text{ nm} \sim 300 \text{ nm}$  の範囲に設定されているので、発光素子の動作時における第1及び第2の電極間の抵抗及び電圧が比較的小さくなる。即ち、もし、第2の層の厚みが  $10 \text{ nm}$  よりも薄い時には、第2の層の価電子帯と伝導帯とに離散的なエネルギー準位が発生し、第2の層においてキャリアの伝導に関与するエネルギー準位が見かけ上増大する。この結果、基板と第2の層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第1及び第2の電極間の抵抗及び電圧が比較的大きくなる。これに対し、第2の層の厚みが  $10 \text{ nm}$  以上になると、第2の層の価電子帯と伝導帯とにおける離散的なエネルギー準位の

10

20

30

40

50

発生が抑制され、第2の層におけるキャリアの伝導に関するエネルギー準位の増大が抑制される。この結果、基板と第2の層との間のエネルギーバンドの不連続性の悪化が抑制され、発光素子の動作時の第1及び第2の電極間の抵抗及び電圧が小さくなる。この効果は図4に示されている。

(7) 第1の層と第2の層とを交互に複数回繰り返して配置した複合層によってバッファ層が構成されているので、複数の薄い第1の層がこれよりも厚い複数の第2の層の中に分散配置される。この結果、バッファ層の導電性を確保し且つバッファ層全体として良好なバッファ機能を得ることができ、バッファ層の上に形成される半導体領域の結晶性が良くなる。

請求項2の発明によれば、第2の層をn形半導体領域にすることができるのみでなく、第2の層が不純物を含むために抵抗が小さくなり、第1及び第2の電極間の抵抗及び電圧を小さくすることができ、電力損失の少ない発光素子を提供することができる。

請求項3の発明によれば、バッファ層上に発光機能を有する半導体領域を良好に形成することができる。

請求項4の発明によれば、活性層が互いに反対導電形の2つの半導体層で挟まれた構造を有するため、発光特性の良好な半導体発光素子を提供できる。

請求項5の発明によれば、特性の良い半導体発光素子を安価且つ容易に形成することができる。

#### 【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第1の実施形態に係わる半導体発光素子としての窒化物系化合物青色発光ダイオードを説明する。

#### 【0009】

図1及び図2に示す本発明の第1の実施形態に従う青色発光ダイオードは、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(窒化インジウムガリウム)から成る発光層即ち活性層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の一方の主面(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の他方の主面(下面)即ち基板11の他方の主面に第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<sup>+</sup>形シリコン単結晶から成る。この基板11のバッファ層12が配置されている側の主面11aは、ミラー指数で示す結晶の面方位において(111)ジャスト面である。この基板11の不純物濃度は、5×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>～5×10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>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。

#### 【0011】

基板11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、50個の第1の層12aと50個の第2の層12bとを有

10

20

30

40

50

する。

【0012】

第1の層12aは、化学式  $A1_xGa_{1-x}N$

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12aは、 $A1N$ (窒化アルミニウム)又は $A1GaN$ (窒化アルミニウム ガリウム)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 $A1N$ (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。

10

【0013】

第2の層12bは、 $GaN$ (窒化ガリウム)又は

化学式  $A1_yGa_{1-y}N$

ここで、 $y$ は、 $y < x$ 、

$0 < y < 1$

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 $A1_yGa_{1-y}N$ 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。

20

【0014】

バッファ層12の第1の層12aの厚みは、好ましくは $0.5\text{nm} \sim 10\text{nm}$ 即ち $5 \sim 100$ オングストローム、より好ましくは $1\text{nm} \sim 8\text{nm}$ である。第1の層12aの厚みが $0.5\text{nm}$ 未満の場合にはバッファ層12の上面に形成される半導体領域10の平坦性が良好に保てなくなる。第1の層12aの厚みが $10\text{nm}$ を超えると、量子力学的トンネル効果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 $10\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 即ち $100 \sim 5000$ オングストロームであり、より好ましくは $10\text{nm} \sim 300\text{nm}$ である。第2の層12bの厚みが $10\text{nm}$ 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-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 $V_f$ が比較的大きくなる。また、第2の層12bの厚みが $10\text{nm}$ 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12aと第2の層12bの下に形成される他方の第1の層12a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 $500\text{nm}$ を超えた場合には、バッファ層12全体に対する第1の層12a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の平坦性が良好に保てなくなる。

30

【0016】

図4は第2の層12bの厚み $T_2$ と発光素子の発光動作時におけるアノード電極17とカソード電極18との間の電圧 $V_f$ との関係を示す。この図4から明らかなように、上記厚み $T_2$ が $10\text{nm}$ よりも小さい時には電圧 $V_f$ が約4Vよりも高くなる。これに対して、厚み $T_2$ が $10\text{nm}$ 又はこれよりも大きい時には、電圧 $V_f$ が4Vよりも小さくなる。

40

第2の層12bの厚み $T_2$ が $10\text{nm}$ 未満の時には、第2の層12bによる第1の層12aの相互間の電気的接続機能が低下すると共に、シリコン基板11と第2の層12bとのエネルギー-bandの不連続性が大きくなる。即ち、第2の層12bの厚みが $10\text{nm}$ よりも薄い時には、第2の層12bの価電子帯と伝導帯とに離散的なエネルギー準位が発生し、第2の層12bにおいてキャリアの伝導に関与するエネルギー準位が見かけ上増大する。即ち、第1の層12aと第2の層12bが超格子の状態になる。この結果、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

50

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。これに対し、第 2 の層 12b の厚みが 10 nm 以上になると、第 2 の層 12b の価電子帯と伝導帯とにおける離散的なエネルギー準位の発生が抑制され、第 2 の層 12b におけるキャリアの伝導に関するエネルギー準位の増大が抑制される。即ち、第 1 の層 12a と第 2 の層 12b が超格子の状態になることが阻止される。この結果、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の悪化が抑制され、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  $V_f$  が低くなる。従って、この実施例では、第 1 の層 12a の厚み  $T_1$  が 5 nm、第 2 の層 12b の厚み  $T_2$  が 30 nm に設定されている。

#### 【0017】

次に、第 1 の層 12a が AlN、第 2 の層が GaN とされた半導体発光素子の製造方法を説明する。

#### 【0018】

まず、図 3 の (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。バッファ層 12 を形成するためのシリコン基板 11 の一方の主面 11a は、ミラー指数で示す結晶の面方位において (111) ジャスト面、即ち正確な (111) 面である。しかし、図 3 において 0 で示す (111) ジャスト面に対して  $- \sim +$  で示す範囲で基板 11 の主面 11a を傾斜させることができる。 $- \sim +$  の範囲は  $-4^\circ \sim +4^\circ$  であり、好ましくは  $-3^\circ \sim +3^\circ$  であり、より好ましくは  $-2^\circ \sim +2^\circ$  である。

#### 【0019】

図 5 は基板 11 の主面 11a の (111) ジャスト面に対するオフ角度  $\theta$  と発光強度比  $Q_2/Q_1$  の関係を示す。ここで発光強度比は、基板 11 の主面 11a が (111) ジャスト面された発光素子を所定電流で駆動した時の発光強度即ち発生光量  $Q_1$  と基板 11 の主面 11a が (111) 面を基準にして (112) 面方向に角度  $\theta$  だけ傾いた面にされた発光素子を所定電流で駆動した時の発光強度即ち発生光量  $Q_2$  との比  $Q_2/Q_1$  を示す。この図 5 から明らかのように (111) 面からのオフ角度  $\theta$  が  $-4^\circ \sim +4^\circ$  の範囲で発光強度比  $Q_2/Q_1$  が約 0.05 以上となり、 $-3^\circ \sim +3^\circ$  の範囲で発光強度比  $Q_2/Q_1$  が約 0.5 以上となり、 $-2^\circ \sim +2^\circ$  の範囲で発光強度比  $Q_2/Q_1$  が 0.8 以上になる。ここで、発光強度比が大きいことは、発光素子の発光効率が大きいことを意味する。シリコン基板 11 の主面 11a の結晶方位を、(111) ジャスト面又は (111) ジャスト面からのオフ角度が小さい面とすることによって、バッファ層 12 及び発光機能を有する半導体領域 10 をエピタキシャル成長させる際の原子レベルでのステップを無くすこと又は小さくすることができる。もし、主面 11a の結晶方位が (111) ジャスト面からのオフ角度が大きくなるように設定されている場合には、シリコン基板 11 の主面 11a 上にバッファ層 12 及び発光機能を有する半導体領域 10 をエピタキシャル成長で形成する時に、原子レベルで見て比較的大きいステップが生じる。エピタキシャル成長層が比較的厚い場合には多少のステップはさほど問題にならないが、活性層 14 のように例えば 2 nm のように薄い場合には、発光素子を通電状態とした時にステップの近傍に発光に寄与しない電流即ち無効電流が流れ、発光効率が低下する。これに対して、シリコン基板 11 の主面 11a を (111) ジャスト面又はオフ角度の小さい面とすれば、ステップが無くなるか又は小さくなり、無効電流も少くなり、発光効率が大きくなる。

#### 【0020】

次に、図 3 (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  $NH_3$  (アンモニア) ガスを約 27 秒間供給して、基板 11 の一方の主面に厚さ約 5 nm 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  $^{\circ}C$  とした後に、TMA ガスの流量即ち AlN の供給量を約 6.3  $\mu mol/min$ 、 $NH_3$  ガスの流量を約 100  $ml/min$  とした。

10

20

30

40

50

スの流量即ち  $\text{NH}_3$  の供給量を約  $0.14 \text{ mol/min}$  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  $\text{NH}_3$  (アンモニア) ガスと  $\text{SiH}_4$  (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 A1N から成る第 1 の層 12a の上面に、厚さ約  $30 \text{ nm}$  の n 形の GaN から成る第 2 の層 12b を形成する。ここで、 $\text{SiH}_4$  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  $63 \text{ μmol/min}$ 、 $\text{NH}_3$  ガスの流量即ち  $\text{NH}_3$  の供給量を約  $0.14 \text{ mol/min}$ 、 $\text{SiH}_4$  ガスの流量即ち Si の供給量を約  $21 \text{ nmol/min}$  とした。本実施例では、上述の A1N から成る第 1 の層 12a と GaN から成る第 2 の層 12b の形成を 50 回繰り返して A1N 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 100 層積層されたバッファ層 12 を形成する。勿論 A1N から成る第 1 の層 12a、GaN から成る第 2 の層 12b をそれぞれ 25 層等の任意の数に変えることもできる。

#### 【0021】

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、 $\text{NH}_3$  (アンモニア) ガス、 $\text{SiH}_4$  (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  $4.3 \text{ μmol/min}$ 、 $\text{NH}_3$  ガスの流量即ち  $\text{NH}_3$  の供給量を約  $53.6 \text{ mmol/min}$ 、シランガスの流量即ち Si の供給量を約  $1.5 \text{ nmol/min}$  とした。また、本実施例では、n 形半導体層 13 の厚みを約  $0.2 \text{ μm}$  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  $4.0 \sim 5.0 \text{ μm}$  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。

#### 【0022】

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、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$  ガスという。) を供給して n 形半導体層 13 の上面に p 形  $\text{InGaN}$  (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、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$  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  $1.1 \text{ μmol/min}$ 、 $\text{NH}_3$  ガスの流量を約  $67 \text{ mmol/min}$ 、TMI ガスの流量即ち In の供給量を約  $4.5 \text{ μmol/min}$ 、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$  ガスの流量即ち Mg の供給量を約  $12 \text{ nmol/min}$  とした。また、活性層 14 の厚みは約  $2 \text{ nm}$  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。

#### 【0023】

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  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  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  $4.3 \text{ μmol/min}$ 、アンモニアガスの流量を約  $53.6 \text{ μmol/min}$ 、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$  ガスの流量を約  $0.12 \text{ μmol/min}$  とした。また、p 形半導体層 15 の厚みは約  $0.2 \text{ μm}$  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。

#### 【0024】

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

10

20

30

40

50

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。

【0025】

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。

10

【0026】

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。

【0027】

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。

【0028】

本実施形態の青色発光ダイオードによれば、次の効果が得られる。

(1) サファイアに比べて著しく低コストであり且つ加工性も良いシリコンから成る基板11を使用することができるので、材料コスト及び生産コストの削減が可能である。このため、GaN系発光ダイオードのコスト低減が可能である。

20

(2) 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。

(3) 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の平坦性が良くなる。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平坦性に優れた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の上に平坦性及び結晶性の良い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。

30

(4) 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。

40

(5) 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AIN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によつ

50

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。

(6) 第2の層 12b の厚みが 10 nm 以上の 30 nm に設定されているので、第2の層 12b の価電子帯と伝導帯における離散的なエネルギー準位の発生が抑制され、第2の層 12b におけるキャリアの伝導に関与するエネルギー準位の増大が抑制される。即ち、第1の層 12a と第2の層 12b が超格子状態になることが阻止される。この結果、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の悪化が抑制され、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 が低くなる。

(7) シリコン基板 11 の正面 11a の結晶方位を (111) ジャスト面としたので、半導体領域 10 におけるステップの発生が抑制され、発光効率が高くなる。

(8) バッファ層 12 が導電性を有するので、対向配置されているアノード電極 17 とカソード電極 18 との間に、順方向電圧を印加すると、半導体基体 16 の厚み方向 (縦方向) に順方向電流が流れる。このため、アノード電極 17 とカソード電極 18 との間の抵抗値及び電圧 Vf を下げることができ、発光ダイオードの消費電力を小さくすることが可能になる。

(9) 従来のサファイア基板を使用した発光素子に比べてカソード電極 18 の形成が容易になる。即ち、従来のサファイア基板を使用した発光素子の場合は、図 1 及び図 2 の p 形半導体層 15 及び活性層 14 に相当するものの一部を除去して n 形半導体層 13 の一部を露出させ、この露出した n 形半導体層 13 にカソード電極を接続することが必要になった。このため、従来の発光素子は、カソード電極が形成しにくいという欠点、及びカソード電極を形成するために n 形半導体層の面積が大きくなるという欠点があった。図 1 及び図 2 の発光素子は上記欠点を有さない。

#### 【0029】

#### 【第2の実施形態】

次に、図 6 を参照して第2の実施形態の半導体装置を説明する。但し、図 6 において図 1 と実質的に同一の部分には同一の符号を付してその説明を省略する。

#### 【0030】

図 6 の半導体装置は、図 1 に示した発光ダイオードのシリコン基板 11 に別の半導体素子としてのトランジスタ 20 を設けたものである。トランジスタ 20 は素子分離用の P 形半導体領域 21 の中に形成されたコレクタ領域 C とベ・ス領域 B とエミッタ領域 E とから成る。このように、発光ダイオードとトランジスタとを複合化すると、これ等を含む回路装置の小型化及び低コスト化を図ることができる。

#### 【0031】

#### 【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) 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。

(2) 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ます。

(3) n 形半導体層 13、活性層 14 及び p 形半導体層 15 のそれぞれを、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。

(4) n 形半導体層 13、活性層 14 及び p 形半導体層 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ます。

(5) 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 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

10

20

30

40

50

。

(6) アノード電極17の下にオミックコンタクトのためのP<sup>+</sup>形半導体領域を設けることができる。

(7) アノード電極17を透明電極とすることができます。

(8) 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。

(9) 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。

【図面の簡単な説明】

10

【図1】本発明の第1の実施形態に従うの発光ダイオードを示す中央縦断面図である。

【図2】図1の発光ダイオードの斜視図である。

【図3】図1の発光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。

【図4】第2の層の厚みと順方向電圧との関係を示す図である。

【図5】シリコン基板の正面の(111)ジャスト面に対するオフ角度と発光強化比との関係を示す図である。

【図6】第2の実施形態の半導体装置を示す断面図である。

【符号の説明】

10 GaN系半導体領域

20

11 シリコン単結晶から成る基板

12 バッファ層

12a AlNから成る第1の層

12b GaNから成る第2の層

13 n形半導体層

14 活性層

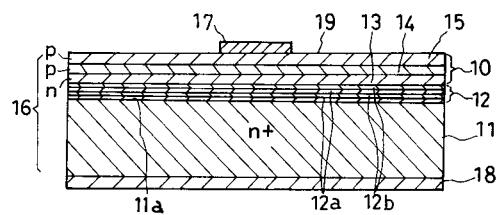
15 p形半導体層

16 基体

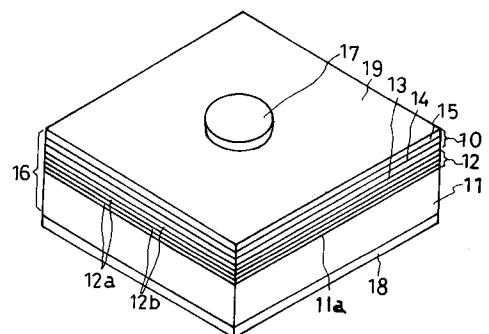
18 アノード電極

19 カソード電極

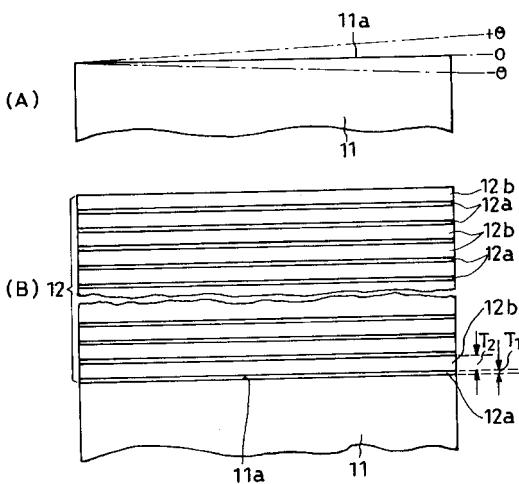
【図1】



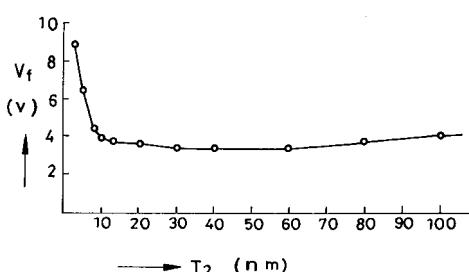
【図2】



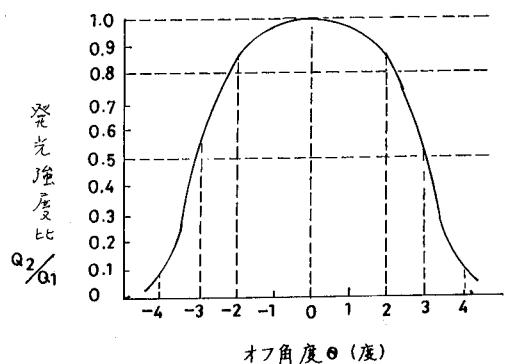
【図3】



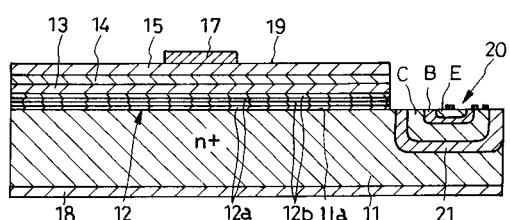
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平09-199759(JP,A)  
特開平11-298039(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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