

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第7部門第2区分
 【発行日】平成20年12月18日(2008.12.18)

【公開番号】特開2008-91962(P2008-91962A)
 【公開日】平成20年4月17日(2008.4.17)
 【年通号数】公開・登録公報2008-015
 【出願番号】特願2007-339293(P2007-339293)
 【国際特許分類】

H 0 1 L 33/00 (2006.01)

【 F I 】

H 0 1 L 33/00 C

【手続補正書】

【提出日】平成20年10月30日(2008.10.30)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上にチッ化ガリウム系化合物半導体のn型層とp型層とにより挟持される発光層を有する半導体発光素子であって、

発光層は、発光波長を定める第1の半導体層と、第1の半導体層のバンドギャップエネルギーより大きいバンドギャップエネルギーを有する第2の半導体層とがそれぞれ複数層ずつ繰り返して積層された積層体を含み、

p型層は、発光層に接する一面に、Alを含むAlGa_N系化合物半導体層を有しており、

発光層の第1の半導体層がIn_xGa_{1-x}N(0 < x < 0.5)からなり、第2の半導体層がIn_zGa_{1-z}N(0 < z < x)からなる半導体発光素子。

【請求項2】

n型層およびp型層がそれぞれGa_N層を有しており、

n型層およびp型層に含まれるGa_Nと発光層のInGa_N系化合物半導体との格子定数が、AlN < AlGa_N < Ga_N < InGa_Nの関係にあり、

n型のGa_N層とp型のGa_N層との間の格子定数が、

格子定数の小さい、発光層上のp型のAlGa_N系化合物半導体層と、

格子定数の大きい、発光層のInGa_N系化合物半導体層とが積層されることにより、

n型およびp型のGa_N層の格子定数に平均化されている請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】

発光層が、発光層と接するp型のAlGa_N系化合物半導体層との格子定数の違いによる歪が蓄積されないような厚みの第1の半導体層および第2の半導体層を有している請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】

第1の半導体層の厚みが5~10nm程度であり、第2の半導体層の厚みが0.5~5nm程度である請求項3に記載の半導体発光素子。

【請求項5】

n型層が、発光層に接する一面に、AlGa_N系化合物半導体層を有している請求項1ないし4のいずれか1項に記載の半導体発光素子。

【請求項6】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、各半導体層を MOCVD 法により積層し、第 1 の半導体層と第 2 の半導体層との積層を、導入する反応ガスのトリメチルインジウムの流量の制御および / または成長温度の制御により連続的に行う半導体発光素子の製造方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】半導体発光素子および半導体発光素子の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明はダブルヘテロ接合構造の半導体発光素子に関する。さらに詳しくは、格子定数の異なる半導体層により発光層が挟持されても発光層に歪みが生じない構造の半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、たとえば青色系の光を発光する半導体発光素子は、図 2 に示されるような構造になっている。すなわち、サファイア基板 2 1 上にたとえば GaN からなる低温バッファ層 2 2 と、高温で n 形の GaN がエピタキシャル成長された n 形層（クラッド層）2 3 と、バンドギャップエネルギーがクラッド層のそれよりも小さくなる材料、たとえば $In_x Ga_{1-x}N$ ($0 < x < 0.5$) からなる発光層（活性層）2 4 と、p 形の GaN からなる p 形層（クラッド層）2 5 とからなり、その表面に p 側（上部）電極 2 8 が設けられ、積層された半導体層の一部がエッチングされて露出した n 形層 2 3 の表面に n 側（下部）電極 2 9 が設けられることにより形成されている。なお、n 形層 2 3 および p 形層 2 5 はキャリアの閉じ込め効果を向上させるため、発光層 2 3 側に AlGaIn 系（Al と Ga の比率が種々変わり得ることを意味する、以下同じ）化合物半導体層が用いられることが多い。

【0003】

この構造で、発光層 2 4 に用いられる材料のバンドギャップエネルギーにより、その発光波長が定まる。すなわち発光層 2 4 として、 $In_x Ga_{1-x}N$ を用いれば、In の混晶比率 x が大きくなれば（バンドギャップエネルギーが小さくなる）発光波長が長くなり、 x が小さくなる（バンドギャップエネルギーが大きくなる）と発光波長が短くなる。したがって、発光波長が 450 nm 程度の青色（In の混晶比率 x が 0.4 程度で青色になるが、0.2 程度で Zn をドープしてもよい）から緑色程度（ x が 0.5 程度）までを発光させる場合に InGaIn 系の化合物半導体層が用いられる。またそれより波長の短い光を発光させる場合には、発光層として GaN や、AlGaIn 系化合物半導体なども使用される。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

前述のように、ダブルヘテロ接合構造では、発光層が格子定数の異なる半導体層により挟持される。とくに InGaIn 系化合物半導体層は、層厚が大きくなるほど結晶構造が不安定となりやすく、格子定数の異なる半導体層により挟持されていると、結晶格子のズレが生じやすく、クラックが入ったり、電流が流れにくくなったりする。そのため、発光効率が低下するという問題がある。

【0005】

本発明はこのような問題を解決するためになされたもので、ダブルヘテロ接合構造の半導体発光素子において、発光層の結晶構造を損なわない構造とすることにより、電子の移動度を向上させて発光効率の優れた半導体発光素子および半導体発光素子の製造方法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】

【0006】

本発明に係る半導体発光素子は、基板上にチツ化ガリウム系化合物半導体のn型層とp型層とにより挟持される発光層を有する半導体発光素子であって、発光層は、発光波長を定める第1の半導体層と、第1の半導体層のバンドギャップエネルギーより大きいバンドギャップエネルギーを有する第2の半導体層とがそれぞれ複数層ずつ繰り返して積層された積層体を含み、p型層は、発光層に接する一面に、Alを含むAlGa系化合物半導体層を有しており、発光層の第1の半導体層が $In_x Ga_{1-x} N$ ($0 < x < 0.5$) からなり、第2の半導体層が $In_z Ga_{1-z} N$ ($0 < z < x$) からなる構成である。

この構造にすることにより、たとえば第1および第2の半導体層の積層をそれぞれ10層程度にすれば1層当たり5～10nm以下とすることができ、歪みの蓄積が生じない。すなわち、歪みの蓄積が生じないうちに別の組成の半導体層になるため、全体的に歪みの少ない発光層となる。この積層される半導体層のそれぞれの厚さは、10nm以下程度の厚さであれば歪みの蓄積が生じ難く、第1の半導体層が2層でも効果が生じる。一方、発光層の発光波長を支配するのは、発光層のバンドギャップエネルギーの一番小さい半導体層であるため、第1の半導体層により発光波長が定まり、それよりバンドギャップの大きい第2の半導体層は、発光波長に何等の影響を及ぼさない。

【0007】

たとえば前記n形層およびp形層がチツ化ガリウム系化合物半導体からなり、前記発光層の第1の半導体層が $In_x Ga_{1-x} N$ ($0 < x < 0.5$) で、第2の半導体層が $In_z Ga_{1-z} N$ ($0 < z < x$) で構成されることができ。

【0008】

ここにチツ化ガリウム系化合物半導体とは、III族元素のGaとV族元素のNとの化合物またはIII族元素のGaの一部がAl、Inなどの他のIII族元素と置換したものおよび/またはV族元素のNの一部がP、Asなどの他のV族元素と置換した化合物からなる半導体をいう。

前述の $In_x Ga_{1-x} N$ と $In_z Ga_{1-z} N$ とで積層する場合、各半導体層をMOCVD法により積層し、前記第1の半導体層と第2の半導体層との積層を、導入する反応ガスのトリメチルインジウムの流量の制御および/または成長温度の制御により連続的に行えば、簡単に異なる組成の積層体を形成することができる。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、発光層が、異なる格子定数の半導体層により挟持されるダブルヘテロ接合構造の半導体発光素子においても、発光層に格子歪みが生じなくて、電子移動度を向上させることができる。その結果、発光効率が向上し高特性の半導体発光素子が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

つぎに、図面を参照しながら本発明の半導体発光素子について説明をする。図1の(a)には、たとえば青色系の発光に適したチツ化ガリウム系化合物半導体層がサファイア基板上に積層される本発明の半導体発光素子の一実施形態の断面説明図が示され、その発光層4の部分拡大図の一参考例が(b)に示されている。

【0011】

本発明の半導体発光素子は、図1に示されるように、たとえばサファイア (Al_2O_3 単結晶) などからなる基板1の表面に発光領域を形成する半導体層2～5が積層されて、その表面に拡散メタル層7を介して上部電極(p側電極)8が形成されている。また、積層された半導体層3～5の一部が除去されて露出したn形層3に下部電極(n側電極)9が形成されている。この積層される半導体層の発光層4は、図1(b)に示されるように、第1の半導体層4aと第2の半導体層4bの薄膜が交互に積層される積層体により形成されている。

【0012】

基板 1 上に積層される半導体層は、たとえば GaN からなる低温バッファ層 2 が $0.01 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 程度堆積され、ついで n 形の GaN からなる n 形層 (クラッド層) 3 が $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度堆積されている。さらに、図 1 (b) に示す参考例では、バンドギャップエネルギーがクラッド層のそれよりも小さくなる材料、たとえば $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 < x < 0.5$ 、たとえば $x = 0.05$) からなる第 1 の半導体層 4 a が $5 \sim 10 \text{nm}$ 程度と、AlN からなる第 2 の半導体層 4 b が $0.5 \sim 5 \text{nm}$ 程度、それぞれ 10 層づつ繰り返して積層された薄膜積層体からなる発光層 4 が全体で $55 \sim 150 \text{nm}$ 程度形成され、さらに p 形の AlGaIn 系化合物半導体層 5 a および GaN 層 5 b からなる p 形層 (クラッド層) 5 が全体で $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ 程度それぞれ順次積層されている。本実施形態では、第 2 の半導体層 4 b として、AlN の代わりに、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{N}$ ($0 < z < x$) を用いる。なお、p 形層 5 は AlGaIn 系化合物半導体層 5 a と GaN 層 5 b との複層になっているが、キャリアの閉じ込め効果の点から Al を含む層が設けられることが好ましいため、GaN 層だけでもよい。また、n 形層 3 にも AlGaIn 系化合物半導体層を設けて複層にしてもよく、またこれらを他のチッ化ガリウム系化合物半導体層で形成することもできる。

【0013】

本発明の半導体発光素子では、前述のように、発光層 4 がクラッド層よりバンドギャップエネルギーが小さく、発光波長を定める第 1 の半導体層 4 a と、それよりバンドギャップエネルギーの大きい第 2 の半導体層 4 b とが交互に積層される積層体からなっていることに特徴がある。この第 1 の半導体層 4 a は、キャリアの再結合により光を発生させる層で、この半導体層のバンドギャップエネルギーにより定まる発光波長の光を発生する。したがって、所望の発光波長に応じて半導体材料が定まり、たとえば青色 (波長が 450nm) の光を発生させるためには、Zn をドープした $\text{In}_{0.2} \text{Ga}_{0.8} \text{N}$ (またはノンドープの $\text{In}_{0.4} \text{Ga}_{0.6} \text{N}$) が用いられる。

【0014】

第 2 の半導体層 4 b は、第 1 の半導体層 4 a が余り厚くならないように挿入されるもので、発光波長に影響を及ぼさないように、第 1 の半導体層 4 a よりバンドギャップエネルギーが大きい半導体材料が選ばれる。たとえば AlN や、AlGaIn 系化合物半導体や、InGaIn 系化合物半導体で In の混晶比率が第 1 の半導体層のバンドギャップエネルギーより小さくなる半導体材料を使用することができる。この第 1 の半導体層 4 a は、薄い程歪みが蓄積されなくて好ましく、 $5 \sim 10 \text{nm}$ 程度の厚さに成膜される。第 2 の半導体層 4 b は同一層の膜厚化を阻止するもので、第 1 の半導体層と組成の変化が生じる程度の厚さに形成されればよい。したがって、 $0.5 \sim 5 \text{nm}$ 程度に形成される。

【0015】

つぎに、本発明の半導体発光素子の発光層の作用について説明をする。発光層として用いられるたとえば $\text{In}_{0.2} \text{Ga}_{0.8} \text{N}$ と、クラッド層として用いられるたとえば $\text{Al}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{N}$ とでは、格子定数がそれぞれ 3.47 と 3.12 で大きく異なり、 $\text{In}_{0.2} \text{Ga}_{0.8} \text{N}$ のみを 50nm 以上堆積すると、歪みが蓄積されて電流が流れ難くなったり、活性層などの半導体層にクラックが入ったりする。しかし、本発明ではこの $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層を $5 \sim 10 \text{nm}$ 堆積した後に、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{N}$ ($0 < z < x$) 層に変えられるため、歪みが大きく蓄積されないうちに結晶構造が全く変わり、歪みの蓄積は進まなくなる。

【0016】

$\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{N}$ ($0 < z < x$) 層と $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層とでは格子定数が異なり、厚くなると歪みが蓄積されるが、この層も $0.5 \sim 5 \text{nm}$ 程度であるため、歪みは蓄積されず、再度 $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ が堆積される。これが繰り返されるため、各薄膜には歪みの蓄積は生ぜず、発光層 4 が全体として歪みのない層として $55 \sim 150 \text{nm}$ 程度の厚さに形成される。一方、キャリアの再結合による光の発生は、前述のようにバンドギャップエネルギーの小さい第 1 の半導体層 4 a で行われ、バンドギャップエネルギーの大きい第 2 の半導体層 4 b は何等の作用をしない。すなわち、第 1 の半導体層 4 a の厚さの合計が発光層として寄与し、第 2 の半導体層 4 b は、歪みの蓄積を止める緩衝層としてのみ機能している。

【0017】

発光層として用いられるInGa_xN系化合物半導体と、積層されるn形層およびp形層の大部分を占めるGa_{1-x}Nとの間の格子定数は、AlN < GaN < InGa_xNの関係にある。したがって、発光層に接するAlGa_xN系化合物半導体層については、AlGa_xN < GaN < InGa_xNの関係にある。格子定数の小さいAlGa_xNと格子定数の大きいInGa_xNとが積層されることになり、平均的に一番多く用いられているGaNの格子定数に平均化されるため好ましい。なお、発光層4の薄膜積層体では前述のように、歪みの蓄積が行われない。さらに、In_zGa_{1-z}N (0 < z < x)の薄層が設けられることにより、量子効果が生じて発光効率が向上するという利点もある。

【0018】

つぎに、図1に示される半導体発光素子の製法について説明をする。

【0019】

まず、たとえばサファイアからなる絶縁基板1上に、有機金属化学気相成長法(MOCVD法)により、キャリアガスのH₂と共にトリメチルガリウム(TM₃G)、アンモニア(以下、NH₃という)などの反応ガスおよびn形にする場合のドーパントガスとしてのSiH₄などを供給して、GaN層からなる低温パuffers層2を、たとえば400~600程度の低温で0.01~0.2μm程度、同じ組成のn形層(クラッド層)3を600~1200程度の高温で1~5μm程度成膜する。

【0020】

ついで、参考例の場合には、反応ガスとしてトリメチルインジウム(以下、TMInという)を追加して、たとえばIn_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる発光層4の第1の半導体層4aを5~10nm程度成膜し、たとえば反応ガスをNH₃とトリメチルアルミニウム(以下、TMAという)に変更し、AlNからなる第2の半導体層4bを0.5~5nm程度成膜する。この反応ガスの変更をそれぞれ9回程度行うことにより、両層が交互に積層される積層体からなる発光層4が形成される。

【0021】

ここで、第2の半導体層4bとしてAlGa_xN系化合物半導体を積層する場合は、前述のNH₃とTMAにさらにTMGを追加することにより形成することができ、本実施形態のようにAlNに代えてIn_zGa_{1-z}Nを積層する場合は、第1の半導体層4aの成膜に続いてTMInのガス量を少なくするか、または反応温度を通常の800程度から高くすることによりInの組成の小さい膜を積層することができ、TMInの流量または反応温度を制御するだけで積層体を形成することができる。さらに、第1の半導体層4aとしてGaNを用い、第2の半導体層4bとしてAlGa_xN系化合物半導体を用いるときも、それぞれ前述の反応ガスに変更すればよく、また、AlGa_xN系化合物半導体のAlの比率を変えて両層を積層する場合は、前述のように、反応ガスTMAの流量を変化させることにより、組成の異なる薄膜の積層体を形成することができる。

【0022】

ついで、反応ガスをNH₃とTMGとTMAに変更し、p形のドーパントガスとしてシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)またはジメチル亜鉛(DMZn)を導入して、p形のAlGa_xN系化合物半導体層5aを0.1~0.5μm程度、さらに反応ガスのTMAを止めてp形のGaN層5bを0.1~0.5μm程度それぞれ積層し、p形層5を形成する。その後、たとえばNiおよびAuを蒸着してシンターすることにより拡散メタル層7を2~100nm程度形成する。ついで、下部電極を形成するためn形層3が露出するように、積層された半導体層の一部を塩素ガスなどによる反応性イオンエッチングによりエッチングをし、電極金属を蒸着することにより、上部電極8および下部電極9を形成する。その結果、図1に示される半導体発光素子が得られる。

【0023】

前述の各例では、チッ化ガリウム系化合物半導体を用いた青色の半導体発光素子であったが、青色発光素子の場合に限らず、格子定数の差が大きい半導体からなるダブルヘテロ接合構造で、結晶構造に歪みが入りやすい発光層を有する半導体発光素子に本発明を適用す

ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】(a)は本発明の半導体発光素子の一実施形態の断面説明図であり、(b)は参考例の一部を示す断面図である。

【図2】従来の半導体発光素子の一例の斜視説明図である。

【符号の説明】

【0025】

- 1 基板
- 3 n形層
- 4 発光層
- 4 a 第1の半導体層
- 4 b 第2の半導体層
- 5 p形層