

(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2008-103627

(P2008-103627A)

(43) 公開日 平成20年5月1日(2008.5.1)

(51) Int.Cl.
H01L 33/00 (2006.01)F I
H01L 33/00テーマコード (参考)
5F041

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2006-286485 (P2006-286485)
(22) 出願日 平成18年10月20日 (2006.10.20)(71) 出願人 000005120
日立電線株式会社
東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(74) 代理人 100068021
弁理士 絹谷 信雄
(72) 発明者 今野 泰一郎
東京都千代田区外神田四丁目14番1号
日立電線株式会社内
(72) 発明者 飯塚 和幸
東京都千代田区外神田四丁目14番1号
日立電線株式会社内
(72) 発明者 新井 優洋
東京都千代田区外神田四丁目14番1号
日立電線株式会社内
Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA37 CA65 CA74
CA85 CA98 EE23

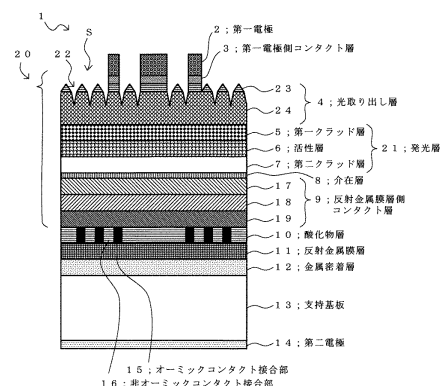
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 光取り出し層の層厚が薄くならないように粗面化された半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 活性層6と光取り出し層4とを含む複数の半導体層を有し、反射金属膜層11を有する半導体発光素子において、上記光取り出し層4が組成比の異なる複数の層23、24からなり、これら複数の層23、24にわたり主面Sを粗面とするための凹凸22が形成された。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一、第二のクラッド層に挟まれ光を発生する活性層と、第一クラッド層側の主面を形成する光取り出し層とを含む複数の半導体層を有し、上記光取り出し層を部分的に覆う第一電極と、上記主面の反対面を覆う第二電極と、第二クラッド層と第二電極との間で光を反射する反射金属膜層と、該反射金属膜層の活性層側に接する酸化物層と、該酸化物層中に部分的に形成されたオーミックコンタクト接合部とを有する半導体発光素子において、上記光取り出し層が組成比の異なる複数の層からなり、これら複数の層にわたり上記主面を粗面とするための凹凸が形成されたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層がその次に外側の層より凹凸表面の傾斜が小さい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】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層の材料がその次に外側の層の材料より Al 組成比が小さい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】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層がその次に外側の層よりバンドギャップエネルギーが小さいことを特徴とする請求項 1～3 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

上記光取り出し層をなす複数の層の材料がそれぞれ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されることを特徴とする請求項 1～4 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

上記光取り出し層と第一クラッド層の層厚の和が $800 \sim 5300 \text{ nm}$ であることを特徴とする請求項 1～5 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

上記光取り出し層の材料が第一クラッド層の材料より屈折率が高いことを特徴とする請求項 1～6 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 8】

上記光取り出し層と第一電極との間に、第一電極と同じ部分を覆い、上記活性層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、かつ、上記活性層からの光に対して不透明な第一電極側コンタクト層を有することを特徴とする請求項 1～7 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 9】

上記第一電極側コンタクト層の層厚が $5 \sim 200 \text{ nm}$ であることを特徴とする請求項 8 記載の半導体発光素子。

【請求項 10】

上記光取り出し層をなす複数の層の材料は上記活性層の材料より Al 組成比が大きいことを特徴とする請求項 1～8 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 11】

上記光取り出し層をなす複数の層の材料がそれぞれ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表され、上記活性層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0 \leq X \leq 0.5$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されることを特徴とする請求項 1～10 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 12】

上記活性層が $20 \sim 160$ 層の井戸層からなる多重量子井戸構造又は歪み多重量子井戸構造を有することを特徴とする請求項 1～11 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 13】

上記活性層と第二クラッド層の間に第二クラッド層側アンドープ層を有することを特徴とする請求項 1～12 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 14】

10

20

30

40

50

上記第二クラッド層側アンドープ層の材料が上記活性層の材料より Al 組成比が大きいことを特徴とする請求項 13 記載の半導体発光素子。

【請求項 15】

上記第二クラッド層側アンドープ層の材料が上記活性層の材料よりバンドギャップエネルギーが大きいことを特徴とする請求項 13 又は 14 記載の半導体発光素子。

【請求項 16】

上記第二クラッド層側アンドープ層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表され、上記活性層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし $0 \leq X \leq 0.5$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されることを特徴とする請求項 13～15 いずれか記載の半導体発光素子。

10

【請求項 17】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層の層厚が $50 \sim 1000 \text{ nm}$ であることを特徴とする請求項 1～16 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 18】

上記複数の半導体層と第二電極との間に支持基板を有し、該支持基板の材料が Si、GaAs、Ge、Cu、Mo、W、CuW のいずれかであることを特徴とする請求項 1～17 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 19】

上記酸化物層の全面積に対するオーミックコンタクト接合部の面積の割合が 20% 以下であることを特徴とする請求項 1～18 いずれか記載の半導体発光素子。

20

【請求項 20】

上記酸化物層と第二クラッド層との間に反射金属膜層側コンタクト層を有し、該反射金属膜層側コンタクト層の材料が GaP を主とすることを特徴とする請求項 1～19 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 21】

上記反射金属膜層側コンタクト層と第二クラッド層との間に介在層を有し、該介在層の材料が $Ga_xIn_{1-x}P$ 、ただし、 $0.6 \leq X < 1$ で表されることを特徴とする請求項 20 記載の半導体発光素子。

【請求項 22】

上記反射金属膜層側コンタクト層が材料の添加物が異なる 3 つの層を有し、これら 3 つの層のうち上記介在層に接する層の材料は添加物が Mg であり、上記酸化物層に接する層の材料は添加物が Zn であり、これら 2 つの層の中間の層の材料は積極的な添加物がないことを特徴とする請求項 20 又は 21 記載の半導体発光素子。

30

【請求項 23】

上記酸化物層の非オーミックコンタクト接合部における層厚 d は、

基準層厚 $d_{st} = \text{奇数の定数 } \alpha \times \text{上記活性層からの光の波長 } \lambda_p$

／ $(4 \times \text{非オーミックコンタクト接合部における上記光の屈折率 } n)$

の関係式で表される基準層厚 d_{st} に対し $\pm 30\%$ の範囲内であり、かつ、上記酸化物層のオーミックコンタクト接合部における層厚が非オーミックコンタクト接合部における層厚と等しいことを特徴とする請求項 1～22 いずれか記載の半導体発光素子。

40

【請求項 24】

上記光取り出し層と第一クラッド層との間に、上記光取り出し層よりも Al 組成比が高く、かつ、バンドギャップエネルギーが大きい挿入層が挿入されたことを特徴とする請求項 1～23 いずれか記載の半導体発光素子。

【請求項 25】

上記挿入層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし $0.4 < X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されることを特徴とする請求項 24 記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、光取り出し層の層厚が薄くならないように粗面化された半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体発光素子である発光ダイオード（LED）は、近年、Ga_N系やAlGaInP系の高品質結晶をMOVPE法で成長させることができるようになったことから、青色、緑色、橙色、黄色、赤色等の高輝度LEDが製造できるようになった。LEDの高輝度化に伴い、自動車のブレーキランプや液晶ディスプレイのバックライト等に用途が広がり、需要が年々増加している。

【0003】

MOVPE法によって高品質結晶が成長可能となって以来、発光素子の内部における発光効率は理論値の限界値に近付きつつある。しかし、発光素子から外部への光取り出し効率は未だ低く、光取り出し効率の向上が望まれている。

【0004】

例えば、高輝度赤色LEDは、AlGaInP系の材料で形成され、導電性のGaAs基板上に格子整合する組成のAlGaInP系の材料からなるn型AlGaInP層と、p型AlGaInP層と、これらに挟まれたAlGaInP又はGaInPからなる発光部の一部である活性層を有するダブルヘテロ構造となっている。ここで、AlGaInP系の材料とは、AlGaInPを主成分とし組成比又は添加物が異なる種々の材料の総称である。AlGaInP系の材料を用いた半導体発光素子には、GaInP、GaPなどの材料も併用される。

【0005】

この種の半導体発光素子は、GaAs基板のバンドギャップが活性層のバンドギャップよりも狭いために、活性層からの光の多くがGaAs基板に吸収され、光取り出し効率が低下する。

【0006】

この対策として、活性層とGaAs基板との間に屈折率の異なる半導体からなる多層反射膜構造の層を形成することによってGaAs基板に向かう光を反射させることでGaAs基板での光の吸収を減少させ、光取り出し効率を向上させる方法がある。しかし、この方法では、多層反射膜構造層に対して限定された入射角を持つ光しか反射しない。つまり、GaAs基板に向かった光の一部しか反射させることができず、取り出し効率を十分に向上させることが難しい。

【0007】

そこで、AlGaInP系の材料からなるダブルヘテロ構造の部分が成長により形成された半導体発光素子を作製後に、反射率の高い金属の層を介して、上記ダブルヘテロ構造の部分をSiやGaAs等の支持基板に貼り付け、その後、成長に用いたGaAs基板を除去する方法が特許文献1に開示されている。この方法を用いれば、反射層として金属を用いているので、反射層に対する入射角を選ばずに高い反射率の反射が可能となる。このために、前述した多層反射膜構造の層を形成するよりも高輝度化ができる。つまり、活性層で発生した光をより有効に取り出すことで高輝度化ができる。

【0008】

図5に従来の半導体発光素子の構造を示す。図示のように、従来の半導体発光素子101は、図示上から順に、光取り出し層を部分的に覆う第一電極102、第一電極102の直下のみに形成されて第一電極102と同じ部分を覆い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、かつ、活性層からの光に対して不透明な第一電極側コンタクト層103、第一クラッド層側の主面を形成し、活性層から第一クラッド層側に進む光を外部に出射する光取り出し層104、活性層を挟む2つのクラッド層の一方である第一クラッド層105、第一、第二のクラッド層に挟まれ光を発生する活性層106、もう一方のクラッド層である第二クラッド層107、第二クラッド層と反射金属膜層側コンタクト層との間に介在する介在層108、反射金属膜層側コンタクト層109、酸化物層110、第二クラ

10

20

30

40

50

ッド層 107 と第二電極との間で活性層 106 から第二電極側に向かう光を反射する反射金属膜層 111、金属密着層 112、ダブルヘテロ構造部分を貼り付けるための支持基板 113、主面の反対面を覆う第二電極 114 からなる。

【0009】

光取り出し層 104 は、ウインドウ層とも呼ばれる。

【0010】

酸化物層 110 は、反射金属膜層 111 に接する面内に適宜に分散して形成されたオーミックコンタクト接合部 115 を有し、オーミックコンタクト接合部 115 でない部分を非オーミックコンタクト接合部 116 と呼ぶことにする。

【0011】

反射金属膜層側コンタクト層 109 は、材料に対する添加物の異なる 3 つの層 117, 118, 119 を有し、これら 3 つの層のうち介在層 108 に接する介在層側コンタクト層 117 の材料は添加物が Mg であり、酸化物層 110 に接する酸化物層側コンタクト層 119 の材料は添加物が Zn であり、これら 2 つの層の中間の中間コンタクト層 118 の材料は積極的な添加物がない。

【0012】

第一電極側コンタクト層 103 から反射金属膜層側コンタクト層 109 までをダブルヘテロ構造部分 120 と呼ぶことにする。また、第一クラッド層 105、活性層 106、第二クラッド層 107 を合わせて発光層 121 と呼ぶこともある。

【0013】

図 5 の半導体発光素子 101 は、反射金属膜層 111 を設けたことにより、支持基板 112 がある方の主面（反対面）からは光を取り出さず、光取り出し層 104 に形成される一方の主面のみから光を取り出すものである。

【0014】

ダブルヘテロ構造部分 120 と支持基板 112 との間に配置される反射金属膜層 111 は、活性層 106 からの光に対して高い反射率を有することは当然ながら、主として AlGaInP 系の材料からなるダブルヘテロ構造部分 120 とオーミックコンタクトが取れなければならない。しかし、AlGaInP 系の材料からなる活性層 106 からの光の発光波長において高い反射率を有する Ag, Al, Au 等の金属では AlGaInP 系の材料と直接オーミックコンタクトを取ることが困難である。そのため、反射金属膜層 111 とダブルヘテロ構造部分 120 との間に、部分的にオーミックコンタクト接合部 115 を配置する必要がある。部分的に配置するとは、反射金属膜層 111 を全面的に覆うのではなく、その面内に適宜に分散して配置することである。

【0015】

オーミックコンタクト接合部 115 は、オーミックコンタクトを取るために反射金属膜層 111 とダブルヘテロ構造部分 120 との間に配置されており、反射金属膜層 111 と比べると反射率が低い。また、ダブルヘテロ構造部分 120 に接してオーミックコンタクト接合部 115 の材料を設けた後に、オーミックコンタクトを取るために、熱処理を行う必要がある。その熱処理の際にダブルヘテロ構造部分 120 とオーミックコンタクト接合部 115 の材料との間に合金化反応が生じ、オーミックコンタクト接合部 115 に接するダブルヘテロ構造部分 120 において光吸収率が増加する。このために、活性層 106 からの光が酸化物層 110 を通ると、非オーミックコンタクト接合部 116 に比べてオーミックコンタクト接合部 115 で光吸収が大きくなる。その結果として、発光素子全体の光取り出し効率が低下する。

【0016】

【特許文献 1】特開 2004-356279 号公報

【特許文献 2】特開 2002-217450 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

10

20

30

40

50

ところで、反射金属膜層 1 1 1 が活性層 1 0 6 からの光に対して高い反射率を有しても、主面である光取り出し層 1 0 4 の表面から多くの光を取り出すことができなければ、光取り出し効率が低下し、発光出力の向上は少ない。そこで、光を効率よく取り出す方法として、特許文献 1 のように主面を粗面化することが知られている。粗面化とは凹凸を形成することである。

【0018】

すなわち、物質中から光が外へ出るためには、臨界角という制約がある。光の角度が表面に対して垂直であれば光は取り出せるが、傾斜があると取り出せない。その臨界角は、光の波長と物質の屈折率で決まる。例えば、発光層 1 2 1 より出た光のうち、光取り出し層 1 0 4 に対して垂直な方向の光は半導体発光素子 1 0 1 より外に出るが、光取り出し層 1 0 4 に対してある一定の角度を持った光は主面に対する角度のため半導体発光素子 1 0 1 より外に出られない。しかし、主面を粗面化すると、光取り出し層 1 0 4 に対してある一定の角度を持った光の主面に対する角度が変わるため、半導体発光素子 1 0 1 より外に出る。よって、主面を粗面化することで光取り出し効率が向上する。

10

【0019】

粗面化の効果をより高めるために、周知の技術であるフォトリソグラフィを用いて凹凸のパターンを形成する方法があるが、この方法は微細なパターン形成が必要になるため、高価な装置が必要になり、結果として半導体発光素子の製造コストが高くなる。また、フォトリソグラフィの工程があることによっても、製造コストが高くなる。これに対して製造コストを下げる方法として、パターンを形成しないで粗面化を行う方法がある。しかし、この方法には、以下の問題がある。

20

【0020】

パターンを形成しないで主面である光取り出し層の表面をエッチングにより粗面化すると、凹凸の形成と同時に全面的にエッチングが進行し、光取り出し層の層厚が全面的に薄くなる。層厚が全面的に薄くなると、電流の広がりが悪くなり、順方向電圧が高くなると同時に発光出力も低下する。その結果、発光効率が低下する。

【0021】

発光効率が低下するのは、順方向電圧が上昇することによって半導体発光素子中の発熱量が大きくなり、その熱の影響により発光出力が低下するためである。要するに、光取り出し層の層厚が薄くなると、直列抵抗が大きくなると共に、電流の広がりが悪くなることで順方向電圧が高くなり、発光出力が低下する。

30

【0022】

そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、光取り出し層の層厚が薄くならないように粗面化された半導体発光素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0023】

上記目的を達成するために本発明は、第一、第二のクラッド層に挟まれ光を発生する活性層と、第一クラッド層側の主面を形成する光取り出し層とを含む複数の半導体層を有し、上記光取り出し層を部分的に覆う第一電極と、上記主面の反対面を覆う第二電極と、第二クラッド層と第二電極との間で光を反射する反射金属膜層と、該反射金属膜層の活性層側に接する酸化物層と、該酸化物層中に部分的に形成されたオーミックコンタクト接合部とを有する半導体発光素子において、上記光取り出し層が組成比の異なる複数の層からなり、これら複数の層にわたり上記主面を粗面とするための凹凸が形成されたものである。

40

【0024】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層がその次に外側の層より凹凸表面の傾斜が小さくてもよい。

【0025】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層の材料がその次に外側の層の材料より A 1 組成比が小さくてもよい。

【0026】

50

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層がその次に外側の層よりバンドギャップエネルギーが小さくてもよい。

【0027】

上記光取り出し層をなす複数の層の材料がそれぞれ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されてもよい。

【0028】

上記光取り出し層と第一クラッド層の層厚の和が $800 \sim 5300 \text{ nm}$ であってもよい。

【0029】

上記光取り出し層の材料が第一クラッド層の材料より屈折率が大きくてもよい。

10

【0030】

上記光取り出し層と第一電極との間に、第一電極と同じ部分を覆い、上記活性層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、かつ、上記活性層からの光に対して不透明な第一電極側コンタクト層を有してもよい。

【0031】

上記第一電極側コンタクト層の層厚が $5 \sim 200 \text{ nm}$ であってもよい。

【0032】

上記光取り出し層をなす複数の層の材料は上記活性層の材料より Al 組成比が大きくてもよい。

【0033】

20

上記光取り出し層をなす複数の層の材料がそれぞれ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表され、上記活性層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0 \leq X \leq 0.5$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されてもよい。

【0034】

上記活性層が $20 \sim 160$ 層の井戸層からなる多重量子井戸構造又は歪み多重量子井戸構造を有してもよい。

【0035】

上記活性層と第二クラッド層の間に第二クラッド層側アンドープ層を有してもよい。

【0036】

上記第二クラッド層側アンドープ層の材料が上記活性層の材料より Al 組成比が大きくてもよい。

30

【0037】

上記第二クラッド層側アンドープ層の材料が上記活性層の材料よりバンドギャップエネルギーが大きくてもよい。

【0038】

上記第二クラッド層側アンドープ層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表され、上記活性層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし $0 \leq X \leq 0.5$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されてもよい。

【0039】

上記光取り出し層をなす複数の層のうち最も外側の層の層厚が $50 \sim 1000 \text{ nm}$ であってもよい。

40

【0040】

上記複数の半導体層と第二電極との間に支持基板を有し、該支持基板の材料が Si 、 $GaAs$ 、 Ge 、 Cu 、 Mo 、 W 、 CuW のいずれかであってもよい。

【0041】

上記酸化物層の全面積に対するオーミックコンタクト接合部の面積の割合が 20% 以下であってもよい。

【0042】

上記酸化物層と第二クラッド層との間に反射金属膜層側コンタクト層を有し、該反射金属膜層側コンタクト層の材料が GaP を主としてもよい。

50

【0043】

上記反射金属膜層側コンタクト層と第二クラッド層との間に介在層を有し、該介在層の材料が $Ga_xIn_{1-x}P$ 、ただし、 $0.6 \leq X < 1$ で表されてもよい。

【0044】

上記反射金属膜層側コンタクト層が材料の添加物が異なる3つの層を有し、これら3つの層のうち上記介在層に接する層の材料は添加物が Mg であり、上記酸化物層に接する層の材料は添加物が Zn であり、これら2つの層の中間の層の材料は積極的な添加物がなくてもよい。

【0045】

上記酸化物層の非オーミックコンタクト接合部における層厚 d は、

基準層厚 $d_{st} = \text{奇数の定数} \alpha \times \text{上記活性層からの光の波長} \lambda_p$

／（ $4 \times \text{非オーミックコンタクト接合部における上記光の屈折率} n$ ）

の関係式で表される基準層厚 d_{st} に対し $\pm 30\%$ の範囲内であり、かつ、上記酸化物層のオーミックコンタクト接合部における層厚が非オーミックコンタクト接合部における層厚と等しくてもよい。

【0046】

上記光取り出し層と第一クラッド層との間に、上記光取り出し層よりも Al 組成比が高く、かつ、バンドギャップエネルギーが大きい挿入層が挿入されてもよい。

【0047】

上記挿入層の材料が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし $0.4 < X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表されてもよい。

【発明の効果】

【0048】

本発明は次の如き優れた効果を発揮する。

【0049】

（1）光取り出し層の層厚が薄くならない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0050】

以下、本発明の一実施形態を添付図面に基づいて詳述する。

【0051】

図1に示されるように、本発明に係る半導体発光素子1は、光取り出し層を部分的に覆う第一電極2、第一電極2の直下のみに形成されて第一電極2と同じ部分を覆い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、かつ、活性層からの光に対して不透明な第一電極側コンタクト層3、第一クラッド層側の主面を形成し、活性層から第一クラッド層側に進む光を外に出射する光取り出し層4、活性層を挟む2つのクラッド層の一方である第一クラッド層5、第一、第二のクラッド層に挟まれ光を発生する活性層6、もう一方のクラッド層である第二クラッド層7、第二クラッド層7と反射金属膜層側コンタクト層との間に介在する介在層8、反射金属膜層側コンタクト層9、酸化物層10、第二クラッド層7と第二電極との間で活性層6から第二電極側に向かう光を反射する反射金属膜層11、ダブルヘテロ構造部分を貼り付けるための支持基板13、金属密着層12、主面の反対面を覆う第二電極14からなる。

【0052】

光取り出し層4は、ウインドウ層とも呼ばれる。

【0053】

酸化物層10は、反射金属膜層11に接する面内に適宜に分散して形成されたオーミックコンタクト接合部15を有し、オーミックコンタクト接合部15でない部分を非オーミックコンタクト接合部16と呼ぶことにする。

【0054】

反射金属膜層側コンタクト層9は、材料に対する添加物の異なる3つの層17、18、19を有し、これら3つの層のうち介在層8に接する介在層側コンタクト層17の材料は

10

20

30

40

50

添加物がMgであり、酸化物層10に接する酸化物層側コンタクト層19の材料は添加物がZnであり、これら2つの層の中間の中間コンタクト層18の材料は積極的な添加物がない。

【0055】

第一電極側コンタクト層3から反射金属膜層側コンタクト層9までをダブルヘテロ構造部分20と呼ぶことにする。また、また、第一クラッド層5、活性層6、第二クラッド層7を合わせて発光層21と呼ぶこともある。

【0056】

本発明に係る半導体発光素子1の特徴は光取り出し層4にある。すなわち、光取り出し層4が組成比の異なる複数の層からなり、これら複数の層にわたり主面Sを粗面とするための凹凸22が形成されたものである。この実施形態では、光取り出し層4は2層からなり、最も外側の層が第一光取り出し層23、その次に外側の層が第二光取り出し層24である。

10

【0057】

図示のように、凹凸22は、第一光取り出し層23から第二光取り出し層24にわたって形成されている。また、第一光取り出し層23が第二光取り出し層24より凹凸22の表面の傾斜が小さい。

【0058】

第一光取り出し層23が第二光取り出し層24より凹凸22の表面の傾斜が小さいのは、第一光取り出し層23のほうが第二光取り出し層24よりエッチング速度が速いためである。

20

【0059】

凹凸22の表面の傾斜が様々な角度に形成されていると、光取り出し層4に様々な角度で入射してきた光が外に取り出せる。よって、第一光取り出し層23と第二光取り出し層24とで凹凸22の表面の傾斜が異なることで、光取り出し効率を向上させることができる。

【0060】

さらに、図には現れないが、第一光取り出し層23の材料が第二光取り出し層24の材料よりA1組成比が小さく、かつ、第一光取り出し層23が第二光取り出し層24よりバンドギャップエネルギーが小さい。

30

【0061】

本発明にあっては、パターンを形成せずにエッチングによって光取り出し層4を粗面化するが、その際、光取り出し層4の構造を組成比の異なる複数層構造とすることで、各層にエッチング速度差をもたらすことができる。すなわち、第一光取り出し層23よりも材料のA1組成比が大きい第二光取り出し層24のエッチング速度は、第一光取り出し層23のエッチング速度よりも速い。このため、まず、第一光取り出し層23がエッチングされて第一光取り出し層23に形成された凹部が第二光取り出し層24に達すると、露出した部分の第二光取り出し層24が急速にエッチングされて凹部が深くなる。一方、第一光取り出し層23が残っている凸部は依然として緩慢にエッチングされるので、第一光取り出し層23が無くならず、相対的に凸部が高くなる。このようにして、各層にエッチング速度差があることにより、比較的短時間で所望の段差を有する凹凸22が形成されると共に、光取り出し層4の全体としての層厚は薄くならない。

40

【0062】

本発明に係る半導体発光素子1は、光取り出し層4が薄くならないことにより、順方向電圧の上昇が防止されると共に、発光層21での電流集中が防止され、その結果、発光効率の低下が抑制され、低コストで発光効率の高い半導体発光素子1が実現される。

【0063】

本発明に係る半導体発光素子1は、第一光取り出し層23が第二光取り出し層24より凹凸22の表面の傾斜が小さいことにより、凹凸22の表面の角度が異なるので、光取り出し効率を向上させることができる。

50

【0064】

本発明に係る半導体発光素子1は、第一光取り出し層23が第二光取り出し層24よりバンドギャップエネルギーが小さい。同じ材料においてバンドギャップエネルギーを小さくするためには、A1組成を変えるのが有効である。A1組成を変えることにより、同じエッチング液によるエッチング速度を変えることができる。エッチング速度を変えることにより、凹凸22の表面の角度を異ならせることができる。つまり、同じエッチング液によるエッチングで凹凸22の表面の角度を異ならせるために、第一光取り出し層23が第二光取り出し層24よりバンドギャップエネルギーが小さい。

【0065】

次に、他の実施形態を説明する。

10

【0066】

図2に示した半導体発光素子1aは、光取り出し層4aの構造が異なる他は図1の半導体発光素子1と同じである。光取り出し層4aは、第一光取り出し層25、第二光取り出し層26、第三光取り出し層27からなる。これら3つの層25～27は、組成比と凹凸22の表面の傾斜とバンドギャップエネルギーがそれぞれ異なる。すなわち、A1組成比は、第一光取り出し層25と第三光取り出し層27が等しく、第二光取り出し層26が大きい。凹凸22の表面の傾斜は、第一光取り出し層25が小、第二光取り出し層26が大、第三光取り出し層27が小である。バンドギャップエネルギーは、第一光取り出し層25が小、第二光取り出し層26が大、第三光取り出し層27が小である。

【0067】

20

このように、光取り出し層4aとして、第一光取り出し層25、第二光取り出し層26、第三光取り出し層27の3層が設けられ、半導体発光素子を形成したとき最も外側の層となる第一光取り出し層25と最も内側の層となる第三光取り出し層27のA1組成比が等しく、中間に挟まれる第二光取り出し層26のA1組成比が大きい。これは従来の半導体発光素子101の光取り出し層104中にそれより材料のA1組成比が大きい層を挿入したことに相当する。

【0068】

この半導体発光素子1aは、第一光取り出し層25よりも材料のA1組成比が大きい第二光取り出し層26のエッチング速度は、第一光取り出し層25のエッチング速度よりも速い。よって、図1の半導体発光素子1の場合と同様に、各層にエッチング速度差があることにより、比較的短時間で所望の段差を有する凹凸22が形成されると共に、光取り出し層4の全体としての層厚は薄くならない。

30

【0069】

図3に示した半導体発光素子1bは、図1の半導体発光素子1に第二クラッド層側アンドープ層28を追加したものである。第二クラッド層側アンドープ層28は、活性層6と第二クラッド層7の間に形成される。第二クラッド層側アンドープ層28の材料は、活性層6の材料よりA1組成比が大きい。また、第二クラッド層側アンドープ層28の材料は、活性層6の材料よりバンドギャップエネルギーが大きい。

【0070】

本発明では、比較的短時間で所望の段差を有する凹凸22を形成することができる。そこで、図3の半導体発光素子1bは、光取り出し層4を構成する第一光取り出し層23bと第二光取り出し層24bのうち、第二光取り出し層24bには図示しないが若干エッチングが入る程度とする。

40

【0071】

以上の3つの実施形態に関する好適な数値範囲及びその他の実施形態について説明する。

【0072】

半導体発光素子1の第一光取り出し層23及び半導体発光素子1aの第一光取り出し層25の層厚は、例えば、400nmとする。これは、第一光取り出し層23、25の層厚が薄すぎるとエッチング中に第一光取り出し層23、25が全て無くなってしまうからで

50

ある。また、層厚があまり厚すぎるとエッチング時間が長くなると共に、材料を多く使用し、エピタキシャル成長の時間も長くなるので、コストが高くなる。また、層厚が厚すぎることは高出力化に関してあまり効果がない。よって、第一光取り出し層 2 3, 2 5 の層厚は 5 0 ~ 1 0 0 0 nm が好ましく、より好ましくは 1 0 0 ~ 8 0 0 nm である。

【0073】

光取り出し層 4 及び光取り出し層 4 a の層厚を厚くすると電流の広がり（拡散）が良くなることから、LED の特性は向上する。しかし、層厚をいくら厚くしても電流を広げる効果の伸びは飽和する。よって、層厚が厚すぎることは特性面での弊害はないがコストが高くなる。層厚が薄すぎる場合は、発光出力が低くなり、順方向電圧が高くなる。よって、光取り出し層 4, 4 a の層厚は 5 0 0 ~ 5 0 0 0 nm が好ましく、より好ましくは 1 0 0 0 ~ 4 0 0 0 nm である。

【0074】

半導体発光素子 1 a の第二光取り出し層 2 6 の層厚は 5 0 ~ 1 0 0 0 nm が好ましい。なぜならば、第一、第三光取り出し層 2 5, 2 7 よりも材料の A 1 組成比が大きい第二光取り出し層 2 6 のエッチング速度は、第一、第三光取り出し層 2 5, 2 7 のエッチング速度よりも速い。第一光取り出し層 2 5 と第三光取り出し層 2 7 との間に第二光取り出し層 2 6 を挿入すると、エッチングばらつきを抑制する効果がある。しかし、第二光取り出し層 2 6 の層厚があまり薄すぎると、エッチングによって第二光取り出し層 2 6 が直ぐに無くなってしまうので、エッチングばらつきを抑制する効果が薄れると共に、第二光取り出し層 2 6 の斜面の面積が狭くなるので、その斜面から取り出される光が少なくなる。一方、層厚があまり厚すぎると、エッチングばらつきを抑制する効果がない。

【0075】

光取り出し層 4, 4 a と第一クラッド層 5 の層厚の和は、8 0 0 ~ 5 5 0 0 nm が好ましい。その理由は、第一クラッド層 5 がキャリア供給層であって、ホールを止める障壁層でもあることの他に、光取り出し層（ウインドウ層）の機能も有するからである。この層厚の和を厚くすることで LED の特性は向上するが、層厚の和が 5 5 0 0 nm を超えるとコストが高くなる。また、第一クラッド層 5 の層厚は障壁層の機能を持つために 3 0 0 nm 以上必要である。光取り出し層 4, 4 a の層厚が 5 0 0 nm 以上であるから、光取り出し層 4, 4 a と第一クラッド層 5 の層厚の和は、8 0 0 ~ 5 5 0 0 nm が好ましい。

【0076】

第一電極側コンタクト層 3 の層厚は 5 ~ 2 0 0 nm が好ましい。なぜならば、この層厚が薄すぎると、コンタクト層としての機能が不十分になり、逆に厚すぎると、電流が流れにくくなって直流抵抗が高くなり、順方向電圧が高くなるからである。よって、好ましい層厚は 5 ~ 2 0 0 nm であり、より好ましくは 1 0 ~ 1 0 0 nm である。

【0077】

介在層 8 の材料の組成は $Ga_xIn_{1-x}P$ 、ただし、 $0.6 \leq X < 1$ がよい。これは、 X が 0.6 よりも小さくなると、発光した光を吸収してしまうからである。

【0078】

反射金属膜層側コンタクト層 9 のうち酸化物層 1 0 に接する酸化物層側コンタクト層 1 9 の材料に添加する添加物は Zn が好ましい。これは Mg よりも Zn が添加しやすいために、低抵抗化できるからである。添加量を多くすることで接触抵抗を低くでき、ひいては順方向電圧を低くできるからである。

【0079】

反射金属膜層側コンタクト層 9 のうち介在層 8 に接する介在層側コンタクト層 1 7 の材料に添加する添加物は Mg が好ましい。これは Zn よりも Mg が拡散しにくいいため、拡散による初期発光出力の低下を抑止できると共に、拡散しにくいことで信頼性（相対出力）が向上するからである。信頼性（相対出力）とは、通電後の光出力／初期光出力のことである。

【0080】

反射金属膜層側コンタクト層 9 の介在層側コンタクト層 1 7 と酸化物層側コンタクト層

10

20

30

40

50

19との間に設ける中間コンタクト層18は、材料に積極的な添加物がないアンドープ層とするのが良い。これは、Mgをドープした層とZnをドープした層とが隣り合わせに存在すると相互拡散を起こすからである。中間コンタクト層18を挟むことで、相互拡散が防止できる。

【0081】

活性層6は、多重量子井戸構造を有してもよく、歪み多重量子井戸構造を有してもよく、あるいはアンドープのバルク層（単一層）であってもよい。

【0082】

活性層6は多重量子井戸構造を20～160層、つまり10ペア～80ペアで構成するのが好ましい。これは、ペア数が少なすぎると電子及び正孔のオーバーフローが起こってしまい、内部量子効率が低下し、ペア数が多すぎると活性層6での光吸収による発光出力の低下が起きるからである。好ましいペア数は10ペア～80ペアであり、より好ましくは20～60ペアである。また、活性層6が単一層である場合にも、同様の理由により層厚を20～200nmとするのが好ましい。

【0083】

活性層6は、歪み多重量子井戸構造とした場合、井戸層はアンドープ $\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{P}$ （4nm）とし、障壁層は $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{InP}$ （10nm）とするのが好ましい。

【0084】

図3の半導体発光素子1bでは、活性層6とp型である第二クラッド層7との間に第二クラッド層側アンドープ層28を挿入したが、活性層6とn型である第一クラッド層5との間に第一クラッド層側アンドープ層（図なし）を挿入してもよい。また、これらのアンドープ層は低キャリア濃度層としてもよい。

【0085】

実施形態では反射金属膜層11とダブルヘテロ構造部分20との間に SiO_2 層（酸化物層）10を設けたが、酸化物層10がない半導体発光素子においても本発明は効果がある。

【0086】

半導体発光素子1, 1a, 1bは、例えば、発光波長630nmの赤色LED素子である。同じ AlGaInP を主成分とする材料を用いたその他のLED素子（発光波長560～660nm）においても、各層の材料、キャリア濃度等の変更はなく、光取り出し層4, 4a, 4bに関しても変更はなく、本発明は効果がある。

【0087】

第一電極2の表面視形状は、円形、四角形、菱形、多角形、その他の異形状とすることができる。

【0088】

支持基板の材料は、Si、GaAs、Ge、Cu、Mo、W、CuWなどがある。

【実施例】

【0089】

実施例#1)

図1に示した構造を有し、発光波長が630nm付近となる赤色LEDのためのLED用エピタキシャルウェハを作製し、LED素子を作製した。エピタキシャル成長方法、各エピタキシャル層の層厚、各エピタキシャル層の構造及び材料、反射金属膜層の構成、オーミックコンタクト接合部の構成及びサイズ、支持基板への貼り替え方法、電極形成方法、エッチング方法など作製の詳細は、以下の通りである。

【0090】

図4に示されるように、n型GaAs基板（成長用基板）41上に、MOVPE法で、n型（Seドープ） $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ エッチングストップ層（層厚200nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）（エッチングストップ層）42、n型（Seドープ）GaAsコンタクト層（層厚50nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）（第一

10

20

30

40

50

電極側コンタクト層) 3、n型 (Seドープ) $(Al_{0.4}Ga_{0.6})_{0.5}In_{0.5}P$ ウインドウ層 (層厚400nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18}/cm^3$) (第一光取り出し層) 23、n型 (Seドープ) $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ ウインドウ層 (層厚2600nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18}/cm^3$) (第二光取り出し層) 24、n型 (Seドープ) $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 (層厚500nm、キャリア濃度 $5 \times 10^{17}/cm^3$) (第一クラッド層) 5、アンドープ多重量子井戸活性層 (井戸層アンドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ (層厚4nm) / 障壁層 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}InP$ (層厚10nm) の20ペア) 6、p型 (Mgドープ) $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 (層厚400nm、キャリア濃度 $1.2 \times 10^{18}/cm^3$) (第二クラッド層) 7、p型 (Mgドープ) $Ga_xIn_{1-x}P$ ($0.6 \leq X < 1$) 介在層 (層厚10nm、キャリア濃度 $5 \times 10^{18}/cm^3$) 8、p型 (Mgドープ) GaP 層 (層厚200nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18}/cm^3$) (介在層側コンタクト層) 17、アンドープ GaP 層 (層厚100nm) (中間コンタクト層) 18、p型 (Znドープ) GaP 層 (層厚50nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{19}/cm^3$) (酸化物層側コンタクト層) 19を順次積層させ、LED用エピタキシャルウェハを得た。活性層3は、 $GaInP$ 層と $AlGaInP$ 層を1ペアとしている。

【0091】

このLED用エピタキシャルウェハの特徴は、光取り出し層4として、第一光取り出し層23と第二光取り出し層24の2層が設けられていることであり、半導体発光素子を形成したとき最も外側の層となる第一光取り出し層23がその次の層となる第二光取り出し層24よりもAl組成比が小さいことである。すなわち、光取り出し層4をなす第一第二光取り出し層23、24の材料がそれぞれ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 、ただし、 $0.3 \leq X \leq 1$ 、 $0.4 \leq Y \leq 0.6$ で表され、第一光取り出し層23の材料におけるXの値が0.4、第二光取り出し層24の材料におけるXの値が0.7である。

【0092】

なお、第一光取り出し層23の層厚を400nmとし、第二光取り出し層24の層厚を2600nmとすることで、光取り出し層4の層厚3000nmは後述する従来例の光取り出し層104の層厚と同じである。

【0093】

MOVPE法での成長温度は650℃とし、成長圧力は6666Pa (50 Torr) とし、各層の成長速度は0.3~1.0nm/secとし、V/III比は約200とした。V/III比は、分母をTMGaやTMAIなどのIII族原料のモル数とし、分子をAsH₃、PH₃などのV族原料のモル数とした比率 (商) である。

【0094】

MOVPE法の原料として、トリメチルガリウム (TMGa)、トリエチルガリウム (TEGa)、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリメチルインジウム (TMIn) 等の有機金属や、アルシン (AsH₃)、ホスフィン (PH₃) 等の水素化物ガスを用いた。n型半導体層の導電型決定不純物のための添加物原料として、セレン化水素 (H₂Se) を用い、p型半導体層の導電型決定不純物のための添加物原料として、ビスクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg)、ジメチルジンク (DMZn) を用いた。

【0095】

この他に、n型半導体層の導電型決定不純物のための添加物原料として、ジシラン (Si₂H₆)、モノシラン (SiH₄)、ジエチルテルル (DETe)、ジメチルテルル (DMTe) を用いることができ、p型半導体層の導電型決定不純物のための添加物原料として、ジエチルジンク (DEZn) を用いることができる。

【0096】

このLED用エピタキシャルウェハをMOVPE装置から取り出した後、酸化物層側コンタクト層19の表面にSiO₂層 (酸化物層) 10を層厚約100nm形成し、一般的なフォトリソグラフィ技術を駆使し、さらにエッチングをすることによって、酸化物層10に表面視約12μm径の酸化物除去穴を30μmピッチで形成し、その酸化物除去穴に真空蒸着法によってオーミックコンタクト接合部15を層厚が酸化物層10とほぼ等し

10

20

30

40

50

くなるように形成した。オーミックコンタクト接合部15の原料として金・亜鉛（AuZn）合金を用いた。オーミックコンタクト接合部15は、表面視約12μm径とした。これをドット状電極と言う。このオーミックコンタクト接合部15を表面視30μmピッチで、厚さ100nmに形成した。つまり、酸化物除去穴に真空蒸着法によってオーミックコンタクト接合部15を層厚が酸化物層10とほぼ等しくなるように形成した。

【0097】

その後、このLED用エピタキシャルウェハを窒素ガス雰囲気中にて350℃に加熱し、5分間熱処理するアロイ工程により、反射金属膜層側コンタクト層9とオーミックコンタクト接合部15との合金化を行った。

【0098】

オーミックコンタクト接合部15が設けられたLED用エピタキシャルウェハの酸化物層10上（オーミックコンタクト接合部15上も含む）に反射金属膜層11として、アルミニウム（Al）、チタン（Ti）、金（Au）をこの順でそれぞれ200nm、200nm、500nm、合計900nmの層厚となるよう蒸着した。

【0099】

支持基板13として用意したSi基板に、金属密着層12として、金・ゲルマニウム（AuGe）合金、チタン（Ti）、金（Au）をこの順でそれぞれ100nm、200nm、500nm、合計800nmの層厚となるよう蒸着した。

【0100】

反射金属膜層11が設けられたLED用エピタキシャルウェハと金属密着層12が設けられた支持基板13とを、反射金属膜層11と金属密着層12とが合わさるように貼り合わせた。貼り合わせは、圧力1.3Pa（0.01Torr）雰囲気で3MPa（30kgf/cm²）の荷重を負荷させた状態で、温度350℃で、30分間保持することによって行った。

【0101】

支持基板13に貼り合わせたLED用エピタキシャルウェハをアンモニア水と過酸化水素水系混合液に浸すことにより、成長用基板41をエッチングで除去し、エッチングストップ層42を露出させた。続いて、塩酸系のエッチング液を用いてエッチングストップ層42を除去し、第一電極側コンタクト層3を露出させた。

【0102】

この第一電極側コンタクト層3の表面に一般的なフォトリソグラフィ技術を駆使してパターンを形成し、真空蒸着法によって、表面視直径100μmの円形部分と、その円形部分から放射状に幅10μmの枝状に伸びることによって分配された分配電極とを有する第一電極2を形成した。第一電極2は、金・ゲルマニウム（AuGe）合金、ニッケル（Ni）、金（Au）をこの順でそれぞれ100nm、100nm、500nm、合計700nmの層厚となるよう蒸着した。

【0103】

この第一電極2をマスクに利用し、硫酸と過酸化水素水と水の混合液からなるエッチング液を用いて第一電極2の直下以外の第一電極側コンタクト層3を選択性エッチングにより除去し、光取り出し層4の第一光取り出し層23を露出させた。

【0104】

この光取り出し層4の表面を塩酸系エッチングにより粗面化した。本実施例では、第二光取り出し層24の一部が露出するエッチング条件を見出し、そのエッチング条件よりもエッチング時間を長めにすることで、図1のように凹凸22が第一光取り出し層23から第二光取り出し層24にわたって形成され、第一光取り出し層23が第二光取り出し層24より凹凸22の表面の傾斜が小さい粗面が得られた。

【0105】

次いで、支持基板13の外側面全面に第二電極14を真空蒸着法によって形成した。具体的には、アルミニウム（Al）、チタン（Ti）、金（Au）をこの順で蒸着し、その後、窒素ガス雰囲気中で400℃に加熱して5分間熱処理するアロイ工程により、第二電

10

20

30

40

50

極 1 4 を合金化した。

【0106】

この電極形成済みの L E D 用エピタキシャルウェハを第一電極 2 の円形部分が中心になるようにダイシング装置を用いて切断し、チップサイズ 300 μm 角の L E D ベアチップを作製した。この L E D ベアチップを T O - 1 8 ステム上にマウント（ダイボンディング）し、このマウントされた L E D ベアチップにワイヤボンディングを行い、L E D 素子を作製した。

【0107】

この実施例 # 1 による L E D 素子の初期特性を評価した。初期特性は、20 mA 通電時（評価時）の発光出力が 6.64 mW、順方向電圧が 1.98 V であった。

10

【0108】

実施例 # 1 では、後述する従来例と同じ方法で主面 S を粗面化した。光取り出し層 4 が 2 層構造であることにより、光取り出し層 4 の層厚が全面的に薄くなることを抑制できた。なぜならば、第一光取り出し層 2 3 がエッチングされて第二光取り出し層 2 4 の一部が露出した時点で第二光取り出し層 2 4 のエッチングが始まり、第二光取り出し層 2 4 のほうが第一光取り出し層 2 3 よりエッチング速度が速いために、エッチング時間を短くしても所望の段差を有する凹凸 2 2 が形成され、これに伴い光取り出し層 4 の層厚が薄くなるのを抑制できたからである。

【0109】

このように光取り出し層 4 の層厚が薄くなるのを防止したことで、順方向電圧の上昇を抑制でき、順方向電圧 1.98 V を達成できた。また、順方向電圧の上昇を抑制したことで、L E D の発熱を抑制でき、結果的に発光出力が向上した。さらに、光取り出し層 4 の層厚が薄くならなかったことにより、電流の広がりが見られ、活性層 6 に流れる電流を均一化できた。これによっても L E D の発熱を抑制できた。さらにまた、電流分散特性が良好になったことで、第一電極 1 5 が影になることによる光取り出し効率の低下を抑制でき、これによっても発光出力を高くできた。また、電流集中を抑制できたことでキャリアのオーバーフローが無くなり、内部量子効率も向上したと考えられる。これら実施例 # 1 によって改善された複数の要因が重なり合って、発光出力が向上した。

20

実施例 # 2)

図 2 に示した構造を有し、発光波長が 630 nm 付近となる赤色 L E D のための L E D 用エピタキシャルウェハを作製し、L E D 素子を作製した。エピタキシャル成長方法、各エピタキシャル層の層厚、各エピタキシャル層の構造及び材料、反射金属膜層の構成、オーミックコンタクト接合部の構成及びサイズ、支持基板への貼り替え方法、電極形成方法、エッチング方法など作製の詳細は、基本的に実施例 # 1 と同じである。以下、実施例 # 1 と異なる点のみ詳細に説明する。

30

【0110】

光取り出し層 4 a は、第一光取り出し層 2 5、第二光取り出し層 2 6、第三光取り出し層 2 7 からなる。第一光取り出し層 2 5 は、 n 型 (S e ドープ) $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ウィンドウ層（層厚 400 nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）とし、第二光取り出し層 2 6 は、 n 型 (S e ドープ) $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ウィンドウ層（層厚 100 nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）とし、第三光取り出し層 2 7 は、 n 型 (S e ドープ) $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ウィンドウ層（層厚 2500 nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）とした。

40

【0111】

つまり、実施例 # 2 では、光取り出し層 4 a として、第一光取り出し層 2 5、第二光取り出し層 2 6、第三光取り出し層 2 7 の 3 層が設けられ、半導体発光素子を形成したとき最も外側の層となる第一光取り出し層 2 5 と最も内側の層となる第三光取り出し層 2 7 の Al 組成比が等しく、中間に挟まれる第二光取り出し層 2 6 の Al 組成比が大きいことである。すなわち、光取り出し層 4 をなす第一第二第三光取り出し層 2 5、2 6、2 7 の材料がそれぞれ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ 、ただし、 $0.3 \leq x \leq 1$ 、 $0.4 \leq y \leq 0.5$ 、

50

6で表され、第一第三光取り出し層25, 27の材料におけるXの値が0.4、第二光取り出し層26の材料におけるXの値が0.7である。

【0112】

また、第二光取り出し層26は、光取り出し層4aの表面から（第一電極側コンタクト層3から）の距離が400nmである。

【0113】

後述する従来例と比べると、光取り出し層104中にそれより材料のAl組成比が大きい層を挿入したことに相当する。

【0114】

この実施例#2によるLED素子の初期特性を評価した。初期特性は、20mA通電時（評価時）の発光出力が6.72mW、順方向電圧が1.99Vであった。

従来例）

図5に示した構造を有し、発光波長が630nm付近となる赤色LEDのためのLED用エピタキシャルウェハを粗面化しないものと粗面化したものの2通り作製し、LED素子を作製した。エピタキシャル成長方法、各エピタキシャル層の層厚、各エピタキシャル層の構造及び材料、反射金属膜層の構成、オーミックコンタクト接合部の構成及びサイズ、支持基板への貼り替え方法、電極形成方法、エッチング方法など作製の詳細は、基本的に実施例#1と同じである。以下、実施例#1と異なる点のみ詳細に説明する。

【0115】

光取り出し層104は、n型（Seドープ） $(Al_{0.4}Ga_{0.6})_{0.5}In_{0.5}P$ ウインドウ層（層厚3000nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18}/cm^3$ ）の1層のみである。

【0116】

粗面化を行った従来例によるLED素子の初期特性は、20mA通電時（評価時）の発光出力が5.0mW、順方向電圧が2.3Vであった。粗面化を行わなかった従来例によるLED素子の初期特性は、20mA通電時（評価時）の発光出力が4.3mW、順方向電圧が1.96Vであった。

【0117】

以上のように、実施例#1, 2、従来例による各LED素子を初期特性で比較すると、本発明を適用することで発光出力の向上と順方向電圧の低下が達成されることが確認された。

【図面の簡単な説明】

【0118】

【図1】本発明の一実施形態を示す半導体発光素子の断面構造図である。

【図2】本発明の一実施形態を示す半導体発光素子の断面構造図である。

【図3】本発明の一実施形態を示す半導体発光素子の断面構造図である。

【図4】半導体発光素子の製造途中に作製されるエピタキシャルウェハの断面構造図である。

【図5】従来の半導体発光素子の断面構造図である。

【符号の説明】

【0119】

- 1 半導体発光素子
- 2 第一電極
- 3 第一電極側コンタクト層
- 4 光取り出し層
- 5 第一クラッド層
- 6 活性層
- 7 第二クラッド層
- 8 介在層
- 9 反射金属膜層側コンタクト層
- 10 酸化物層

10

20

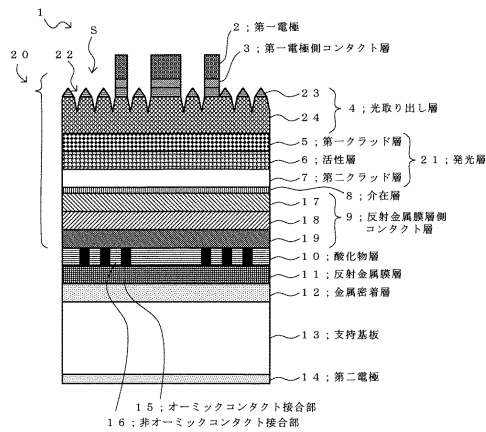
30

40

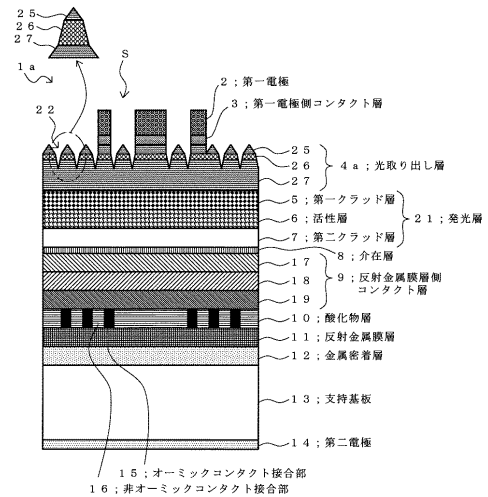
50

- 1 1 反射金属膜層
- 1 2 金属密着層
- 1 3 支持基板
- 1 4 第二電極
- 1 5 オーミックコンタクト接合部
- 2 3 第一光取り出し層
- 2 4 第二光取り出し層

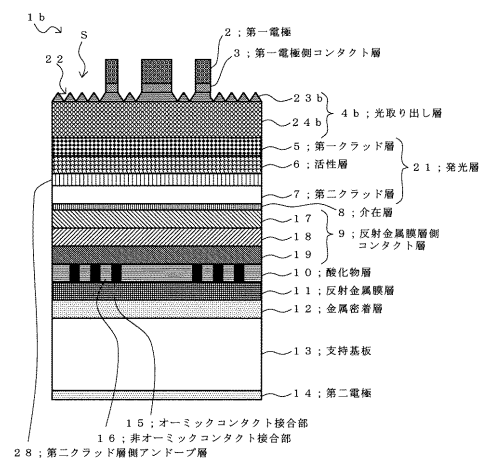
【図 1】



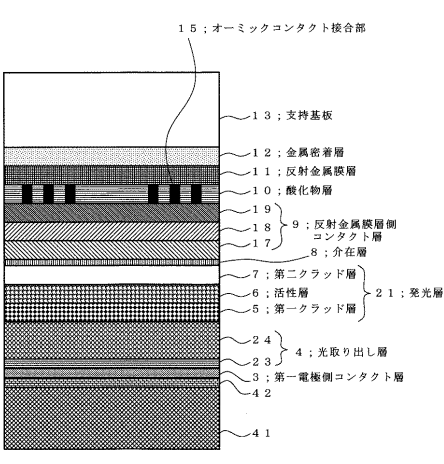
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

