

【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 25 年 4 月 18 日 (2013.4.18)

【公開番号】特開 2012-114204 (P2012-114204A)
 【公開日】平成 24 年 6 月 14 日 (2012.6.14)
 【年通号数】公開・登録公報 2012-023
 【出願番号】特願 2010-261166 (P2010-261166)
 【国際特許分類】

H 0 1 L 33/32 (2010.01)

H 0 1 L 33/22 (2010.01)

H 0 1 L 21/205 (2006.01)

【F I】

H 0 1 L 33/00 1 8 6

H 0 1 L 33/00 1 7 2

H 0 1 L 21/205

【手続補正書】

【提出日】平成 25 年 3 月 4 日 (2013.3.4)

【手続補正 1】

【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】III 族窒化物半導体発光素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、サファイア基板に凹凸加工を施すことにより光取り出し効率が向上された III 族窒化物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、III 族窒化物半導体発光素子は一般照明用途に利用され始めており、光取り出し効率の改善が強く求められている。光取り出し効率を向上させる方法の 1 つとして、サファイア基板に凹凸加工を施す方法が知られている（特許文献 1）。凹凸を設けずに平坦とした場合、素子内部においてサファイア基板に水平な方向へ伝搬する光は、半導体層内に閉じ込められ、多重反射を繰り返すなどして減衰していたが、サファイア基板に凹凸を設けることでこの水平方向に伝搬する光を垂直な方向に反射・散乱させて外部に取り出すことができ、光取り出し効率を向上させることができる。凹凸の形状としては、ストライプ状やドット状などが用いられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2003 - 318441

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、サファイア基板にストライプ状の凹凸を設けた場合、ストライプ方向に伝搬する光に対しては、凹凸による段差がないために上方に光を反射・散乱させることができず、光取り出し効率は十分に向上していなかった。

【 0 0 0 5 】

また、サファイア基板に周期的に配列されたドット状の凹凸を設けた場合であっても、凹凸をGa₂Nで埋め込んで平坦化するにはドットの間隔を適度に空ける必要がある。その結果、ある特定の方向において段差がない領域が存在してしまい、やはり光取り出し効率は十分に向上していなかった。

【 0 0 0 6 】

そこで本発明の目的は、より光取り出し効率が向上されたIII族窒化物半導体発光素子を実現することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

第1の発明は、サファイア基板上にIII族窒化物半導体からなる積層構造が形成されたIII族窒化物半導体発光素子において、サファイア基板は、積層構造側の表面に凹凸形状を有し、凹凸形状は、サファイア基板の主面に垂直な任意の方向での断面において1段以上の段差があり、サファイア基板の主面に垂直な特定の方向での断面において2段以上の段差を有する、ことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子である。

【 0 0 0 8 】

ここでIII族窒化物半導体とは、一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ ($x + y + z = 1$ 、 $0 < x, y, z < 1$)で表される半導体であり、Al、Ga、Inの一部を他の第13族元素であるBやTlで置換したもの、Nの一部を他の第15族元素であるP、As、Sb、Biで置換したものを含むものとする。より一般的には、Gaを少なくとも含むGa₂N、InGa₂N、AlGa₂N、AlGaInNを示す。n型不純物としてはSi、p型不純物としてはMgが通常用いられる。

【 0 0 0 9 】

サファイア基板に設ける凹凸形状は、上記のようにサファイア基板の主面に垂直な任意の方向での断面において1段以上の段差があり、サファイア基板の主面に垂直な特定の方向での断面において2段以上の段差を有する形状であれば、任意の凹凸形状でよい。たとえば、第1のストライプ形状の上に、その第1のストライプ形状のストライプ方向（第1方向）とは異なるストライプ方向（第2方向）である第2のストライプ形状を重ねて形成した凹凸形状である。第1のストライプ形状と第2のストライプ形状とでストライプ周期や、ストライプの凹凸深さ、凹部側面ないし凸部側面のサファイア基板主面に対する角度、ストライプ方向に垂直な面での凹部ないし凸部の断面形状、などが異なってもよい。

【 0 0 1 0 】

光取り出し効率向上のためには、第1方向と、第2方向との成す角度は、 $30 \sim 150^\circ$ とすることが望ましく、 90° とすることがさらに望ましい。また、同じく光取り出し効率向上のために、ストライプ形状の凹部側面ないし凸部側面のサファイア基板に対する角度は、 $40 \sim 80^\circ$ とすることが望ましい。

【 0 0 1 1 】

他にも、以下のような凹凸形状であってもよい。他の凹凸形状の1つは、ストライプ形状の上に、複数のドット状の凹部ないし凸部が格子状に配列されたドット形状を重ねて形成した形状である。ドット状の凹部ないし凸部の形状は、たとえば、角錐台、円錐台、角柱、円柱、角錐、円錐、半球状、などの形状である。ドット状の凹部ないし凸部の配列は、たとえば四角格子状や三角格子状などの格子状の配列である。他の凹凸形状の1つは、複数のドット状の凹部ないし凸部が格子状に配列されたドット形状の上に、ストライプ形状を重ねて形成した形状である。ドット状の凹部ないし凸部の側面がサファイア基板主面に対して成す角度は、 $40 \sim 80^\circ$ とすることが望ましい。光取り出し効率をより向上させることができる。

【 0 0 1 2 】

第2の発明は、第1の発明において、凹凸形状は、サファイア基板の積層構造側の表面に、第1方向に平行にストライプ状に配列された複数の第1の溝によって形成された第1

のストライプ形状と、第１のストライプ形状の上に重ねて形成され、第１方向とは異なる第２方向に平行にストライプ状に配列された複数の第２の溝によって形成された第２のストライプ形状と、を有する形状であることを特徴とするⅢⅢ族窒化物半導体発光素子である。

【００１３】

第３の発明は、第２の発明において、第１方向と第２方向は直交することを特徴とするⅢⅢ族窒化物半導体発光素子である。

【００１４】

第４の発明は、第１の発明において、凹凸形状は、サファイア基板の積層構造側の表面に、所定方向に平行にストライプ状に配列された複数の溝によって形成されたストライプ形状と、ストライプ形状の上に重ねて形成され、格子状に配列されたドット状の凸部ないし凹部によって形成されたドット形状と、を有する形状であることを特徴とするⅢⅢ族窒化物半導体発光素子である。

【００１５】

第５の発明は、第１の発明において、凹凸形状は、サファイア基板の積層構造側の表面に、格子状に配列されたドット状の凸部ないし凹部によって形成されたドット形状と、ドット形状の上に重ねて形成され、所定方向に平行にストライプ状に配列された複数の溝によって形成されたストライプ形状と、を有する形状であることを特徴とするⅢⅢ族窒化物半導体発光素子である。

【発明の効果】

【００１６】

本発明によれば、サファイア基板の凹凸形状が、素子面内のどの方向に伝搬する光に対しても、光を反射させる効果を発揮するため、光取り出し効率のさらなる向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１】実施例１のⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の構成について示した図。

【図２】サファイア基板１０表面の凹凸形状を示した図。

【図３】サファイア基板１０表面への凹凸形状の形成工程を示した図。

【図４】実施例１のⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の製造工程を示した図。

【図５】他の凹凸形状を上面から見た図。

【発明を実施するための形態】

【００１８】

以下、本発明の具体的な実施例について図を参照に説明するが、本発明は実施例に限定されるものではない。

【実施例１】

【００１９】

図１は、実施例１のⅢⅢ族窒化物半導体発光素子の構成について示した図である。実施例１のⅢⅢ族窒化物半導体発光素子は、凹凸形状が形成されたサファイア基板１０と、サファイア基板１０の凹凸形状側表面上に、バッファ層（図示しない）を介して順に積層された、ⅢⅢ族窒化物半導体からなるｎ型層１１、発光層１２、ｐ型層１３と、を有している。これらｎ型層１１、発光層１２、ｐ型層１３は、本発明における積層構造に相当する。発光層１２、ｐ型層１３は一部領域がエッチングされて除去され、ｎ型層１１表面が露出している。その露出したｎ型層１１表面上に、ｎ電極１４が形成されている。ｐ型層１３表面のほぼ全面には、ＩＴＯからなる透明電極１５が形成され、透明電極１５上にはｐ電極１６が形成されている。この実施例１のⅢⅢ族窒化物半導体発光素子は、フェイスアップ型の素子である。

【００２０】

ｎ型層１１、発光層１２、ｐ型層１３は、従来より知られる任意の構造でよい。たとえばｎ型層１１は、サファイア基板１０側から順に、ＧａＮからなる高濃度Ｓｉがドーブ

されたn型コンタクト層、Ga_{0.5}N_{0.5}からなるnクラッド層が順に積層された構造である。また、たとえば発光層12は、Ga_{0.5}N_{0.5}からなる障壁層とInGa_{0.5}N_{0.5}からなる井戸層が繰り返して積層されたMQW構造である。また、たとえばp型層13は、発光層12側から順に、AlGa_{0.5}N_{0.5}からなるMgがドーピングされたpクラッド層、Ga_{0.5}N_{0.5}からなるMgがドーピングされたpコンタクト層が積層された構造である。

【0021】

図2(a)は、サファイア基板10表面に施された凹凸形状を示した斜視図であり、図2(b)は上面から見た図である。図2のように、凹凸形状は、サファイア基板10表面上に第1のストライプ形状100が形成され、その上に第2のストライプ形状101が重ねて形成された形状である。

【0022】

第1のストライプ形状100は、所定の方向(図2中のx軸方向、本発明の第1方向に相当)に平行に複数の第1の溝100aが等間隔で配列されている。第1の溝100aの幅L1は0.1~20μm、第1の溝100aの間隔L2は0.1~20μmとすることが望ましい。光取り出し効率をより向上させることができるためである。幅L1を0.1~5μm、間隔L2を0.1~5μmとするとさらに望ましい。第1の溝100aの側面100aaのサファイア基板10主面に対する角度θ1は、40~80°とすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは50~70°である。溝100aの深さD1は、0.1~3μmとすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは0.5~2μmである。

【0023】

第2のストライプ形状101は、x方向に直交する方向(図2中のy軸方向、本発明の第2方向に相当)に平行に複数の第2の溝101aが等間隔で配列されている。第2の溝101aの底面101abは第1のストライプ形状100に沿って凹凸形状を成している。第2の溝101aの幅L3は0.1~20μm、第2の溝101aの間隔L4は0.1~20μmとすることが望ましい。光取り出し効率をより向上させることができるためである。幅L3を0.1~5μm、間隔L4を0.1~5μmとするとさらに望ましい。第2の溝101aの側面101aaのサファイア基板10主面に対する角度θ2は、40~80°とすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは50~70°である。第2の溝101aの深さD2は、0.1~3μmとすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは0.5~2μmである。第1の溝100aの深さD1と、第2の溝101aの深さD2は、異なる深さであってもよいし、等しくてもよい。また、第1の溝100aの幅L1と第2の溝101aの幅L3、第1の溝100aの間隔L2と第2の溝101aの間隔L4も、それぞれ異なってもよいし、等しくてもよい。また、角度θ1とθ2についても異なってもよいし等しくてもよい。

【0024】

第1のストライプ形状100のストライプ方向(x軸方向)と第2のストライプ形状101のストライプ方向(y軸方向)とを直交させているが、必ずしも直交させる必要はなく、第1のストライプ形状100のストライプ方向が、第2のストライプ形状101のストライプ方向に対して30~150°であれば光取り出し効率を向上させることができる。最も望ましいのは本実施例のように直交させることである。

【0025】

この凹凸形状では、サファイア基板10の主面に垂直な任意の方向での断面において、1段以上の段差がある。また、特定の方向での断面においては2段以上の段差がある。たとえば、x軸方向に平行なA-Aでの断面においては、第1のストライプ形状100による段差はないが、第2のストライプ形状101による1段の段差がある。また、y軸方向に平行なB-Bでの断面においては、第2のストライプ形状101による段差はないが、第1のストライプ形状100による1段の段差がある。また、図2中のC-Cでの断面に

おいては、第 1 のストライプ形状 1 0 0 と第 2 のストライプ形状 1 0 1 の段差により 3 段の段差がある。

【 0 0 2 6 】

このように凹凸形状を形成すると、サファイア基板 1 0 主面に素子内部において平行に伝搬する光は、どの方向においても第 1 のストライプ形状 1 0 0 あるいは第 2 のストライプ形状 1 0 1 による段差構造によって乱反射させることができ、光取り出し側 (n 電極 1 4、p 電極 1 6 側) へと光を取り出すことができる。その結果、実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子は、従来の III 族窒化物半導体発光素子に比べて光取り出し効率が向上している。

【 0 0 2 7 】

次に、実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子の製造工程について、図 3、4 を用いて説明する。

【 0 0 2 8 】

まず、サファイア基板 1 0 への凹凸加工について説明する。まず、図 3 (a) のように、サファイア基板 1 0 表面に、フォトリソグラフィとドライエッチングによって、x 軸方向に平行な第 1 の溝 1 0 0 a が所定の間隔で周期的に配列された第 1 のストライプ形状 1 0 0 を形成する。

【 0 0 2 9 】

次に、図 3 (b) のように、フォトリソグラフィによって、サファイア基板 1 0 表面の第 1 のストライプ形状 1 0 0 の上に、その第 1 のストライプ形状の凹凸に沿って、x 軸方向に直交する y 軸方向に平行な所定の間隔で周期的に配列されたストライプ形状のフォトマスク 1 0 3 を形成する。そして、フォトマスク 1 0 3 に覆われていないサファイア基板 1 0 表面をドライエッチングし、その後フォトマスク 1 0 3 を除去することで、図 2 に示す凹凸形状をサファイア基板 1 0 表面に形成する。

【 0 0 3 0 】

なお、このように 2 段階に分けてサファイア基板 1 0 表面をドライエッチングすると、加工形状の角部が丸まってしまうことを防止でき、凹凸加工の精度を向上させることができる。

【 0 0 3 1 】

次に、上記凹凸形状の加工によって生じたダメージの回復やサファイア基板 1 0 表面の不純物除去のために、サーマルクリーニングを行う。サーマルクリーニングは、たとえば水素雰囲気中 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 での熱処理である。

【 0 0 3 2 】

次に、上記のようにして凹凸形状を形成したサファイア基板 1 0 上に、MOCVD 法によって、AlN からなるバッファ層 (図示しない) を介して n 型層 1 1、発光層 1 2、p 型層 1 3 を順に形成する (図 4 (a))。MOCVD 法において用いる原料ガスは、窒素源として、アンモニア (NH_3)、Ga 源として、トリメチルガリウム ($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$)、In 源として、トリメチルインジウム ($\text{In}(\text{CH}_3)_3$)、Al 源として、トリメチルアルミニウム ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$)、n 型ドーピングガスとして、シラン (SiH_4)、p 型ドーピングガスとしてシクロペンタジエニルマグネシウム ($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$)、キャリアガスとして H_2 または N_2 である。

【 0 0 3 3 】

次に、ドライエッチングによって p 型層 1 3、発光層 1 2 の一部領域を除去して n 型層 1 1 表面を露出させる (図 4 (b))。そして、p 型層 1 3 表面のほぼ全面に透明電極 1 5 を形成し、露出させた n 電極 1 1 表面上に n 電極 1 4、透明電極 1 5 上に p 電極 1 6 を形成する。以上によって実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子が製造される。

【 0 0 3 4 】

実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子において、第 1 のストライプ形状 1 0 0 を構成する第 1 の溝 1 0 0 a の幅 L 1、間隔 L 2、深さ D 1、側面 1 0 0 a a の角度 θ 1、および第 2 のストライプ形状 1 0 1 を構成する第 2 の溝 1 0 1 a の幅 L 3、間隔 L 4、深さ D

2、側面101aaの角度 θ_2 を変えて、素子垂直上方向（軸上）の光出力を比較例1、2と比較した。比較例1、2は共に、サファイア基板表面の凹凸形状を、三角格子状に円柱台状の凸部を複数配列した形状とした場合であり、凸部の直径を $3\mu\text{m}$ 、間隔を $2\mu\text{m}$ とし、比較例1は凸部側面のサファイア基板主面に対する角度を 80° 、凸部の高さを $0.7\mu\text{m}$ とした場合、比較例2は、凸部側面のサファイア基板主面に対する角度を 60° 、凸部の高さを $1.4\mu\text{m}$ とした場合である。比較例2の軸上の光出力は、比較例1の1.11倍であった。

【0035】

[実施例1-1]

第1の溝100aの幅 L_1 、間隔 L_2 は $2\mu\text{m}$ 、深さ D_1 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面100aaの角度 θ_1 は 80° とし、第2の溝101aの幅 L_3 、間隔 L_4 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_2 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面101aaの角度 θ_2 は 80° とした場合について、軸上の光出力を測定したところ、比較例1の1.19倍の光出力であった。

【0036】

[実施例1-2]

第1の溝100aの幅 L_1 、間隔 L_2 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_1 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面100aaの角度 θ_1 は 80° とし、第2の溝101aの幅 L_3 、間隔 L_4 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_2 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面101aaの角度 θ_2 は 80° とした場合について、軸上の光出力を測定したところ、比較例1の1.17倍の光出力であった。

【0037】

[実施例1-3]

第1の溝100aの幅 L_1 、間隔 L_2 は $2\mu\text{m}$ 、深さ D_1 は $1.4\mu\text{m}$ 、側面100aaの角度 θ_1 は 60° とし、第2の溝101aの幅 L_3 、間隔 L_4 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_2 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面101aaの角度 θ_2 は 80° とした場合について、軸上の光出力を測定したところ、比較例1の1.29倍の光出力であった。

【0038】

[実施例1-4]

第1の溝100aの幅 L_1 、間隔 L_2 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_1 は $1.4\mu\text{m}$ 、側面100aaの角度 θ_1 は 60° とし、第2の溝101aの幅 L_3 、間隔 L_4 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_2 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面101aaの角度 θ_2 は 80° とした場合について、軸上の光出力を測定したところ、比較例1の1.29倍の光出力であった。

【0039】

[実施例1-5]

第1の溝100aの幅 L_1 、間隔 L_2 は $2\mu\text{m}$ 、深さ D_1 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面100aaの角度 θ_1 は 80° とし、第2の溝101aの幅 L_3 、間隔 L_4 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_2 は $1.4\mu\text{m}$ 、側面101aaの角度 θ_2 は 60° とした場合について、軸上の光出力を測定したところ、比較例1の1.34倍の光出力であった。

【0040】

[実施例1-6]

第1の溝100aの幅 L_1 、間隔 L_2 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_1 は $0.7\mu\text{m}$ 、側面100aaの角度 θ_1 は 80° とし、第2の溝101aの幅 L_3 、間隔 L_4 は $1.5\mu\text{m}$ 、深さ D_2 は $1.4\mu\text{m}$ 、側面101aaの角度 θ_2 は 60° とした場合について、軸上の光出力を測定したところ、比較例1の1.28倍の光出力であった。

【0041】

以上のように、実施例1-1～1-6のいずれの場合も、軸上の光出力は比較例1、2を上回っていた。

【0042】

なお、サファイア基板10表面に施す凹凸形状は実施例1に示した形状に限るものではなく、サファイア基板10の主面に垂直な任意の方向での断面において1段以上の段差があり、サファイア基板の主面に垂直な特定の方向での断面において2段以上の段差を有す

る形状であれば、任意の凹凸形状でよい。たとえば図 5 に示す凹凸形状の平面視でのパターンとしてもよい。図 5 のパターンは、ストライプ形状 2 0 0 の上に、三角格子状にドット状の凸部ないし凹部が配列されたドット形状 2 0 1 が重ねて形成された凹凸形状、または、三角格子状にドット状の凸部ないし凹部が配列されたドット形状の上に、ストライプ形状を重ねて形成された凹凸形状である。サファイア基板 1 0 表面に凹凸形状をこのように形成した III 族窒化物半導体発光素子もまた、実施例 1 の場合と同様に、光取り出し効率を向上させることができる。

【 0 0 4 3 】

なお、実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子はフェイスアップ型の素子であるが、本発明はフリップチップ型の素子にも適用することができる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 4 4 】

本発明の III 族窒化物半導体発光素子は、表示装置や照明装置などに利用することができる。

【符号の説明】

【 0 0 4 5 】

- 1 0 : サファイア基板
- 1 1 : n 型層
- 1 2 : 発光層
- 1 3 : p 型層
- 1 4 : n 電極
- 1 5 : 透明電極
- 1 6 : p 電極
- 1 0 0 : 第 1 のストライプ形状
- 1 0 0 a : 第 1 の溝
- 1 0 1 : 第 2 のストライプ形状
- 1 0 1 a : 第 2 の溝