

【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23年6月2日(2011.6.2)

【公開番号】特開2010-263251(P2010-263251A)
 【公開日】平成22年11月18日(2010.11.18)
 【年通号数】公開・登録公報2010-046
 【出願番号】特願2010-187845(P2010-187845)
 【国際特許分類】

H 0 1 L 33/38 (2010.01)

H 0 1 L 33/40 (2010.01)

H 0 1 L 33/20 (2010.01)

【F I】

H 0 1 L 33/00 2 1 0

H 0 1 L 33/00 2 2 0

H 0 1 L 33/00 1 7 0

【手続補正書】

【提出日】平成23年4月19日(2011.4.19)

【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】発光素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、発光素子に関し、特に、半導体素子層を備えた発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、窒化物系半導体を用いた発光ダイオード素子などの発光素子の開発が盛んに行われている。特に、最近では、窒化物系半導体を用いた発光ダイオード素子を照明器具の光源として用いるために、素子の光出力特性の向上および印加電流の大電流化の開発が進められている。このような窒化物系半導体を用いた発光ダイオード素子を形成する際には、GaNからなる基板が高価であるため、GaNからなる基板よりも安価なサファイア基板上に、半導体素子層を成長させている。

【0003】

また、従来では、半導体素子層を成長させるための成長用基板としてのサファイア基板側から半導体素子層(発光層)で生成された光を出射させる発光ダイオード素子が知られている。また、従来では、上記したサファイア基板側から光を出射させる発光ダイオード素子において、素子の側面を所定の角度傾斜させることによって、光取り出し効率を向上させる技術が知られている(たとえば、特許文献1および2参照)。

【0004】

上記特許文献1および2には、サファイア基板などの透光性基板上に半導体素子層を成長させた後、光出射面(透光性基板の表面)と、透光性基板および半導体素子層の側面とがなす角度が鋭角になるように形成された発光ダイオード素子が開示されている。上記特許文献1および2では、光が光出射面で全反射したとしても、その全反射した光が光出射面に対して所定の角度傾斜する側面に入射することにより、光出射面に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。したがって、光

出射面で全反射した光も出射させることができるので、光取り出し効率の向上を図ることが可能となる。

【特許文献1】特開平6-244458号公報

【特許文献2】特開平10-341035号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献1および2では、透光性基板側から光を出射させるため、透光性基板と半導体素子層との界面を光が通過することになる。この場合、透光性基板と半導体素子層との間の屈折率差に起因して、透光性基板と半導体素子層との界面で光が反射するという不都合が生じる。これにより、光取り出し効率を向上させるために素子の側面を傾斜させたとしても、光出射面（透光性基板の表面）から出射される光が減少するという不都合がある。その結果、光取り出し効率を向上させるのが困難であるという問題点がある。

【0006】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、光取り出し効率を向上させることが可能な発光素子を提供することである。

【0007】

この発明のもう1つの目的は、光取り出し効率を向上させることが可能な発光素子の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、この発明の第1の局面による発光素子は、光出射面とは反対側に設置された支持基板と、支持基板に接合され、少なくとも光出射面に対して所定の角度傾斜した側面を有する半導体素子層とを備えている。

【0009】

この第1の局面による発光素子では、上記のように、光出射面とは反対側に支持基板を設置するとともに、その支持基板に半導体素子層を接合することによって、半導体素子層で生成された光を支持基板とは反対側の光出射面から出射させることができるので、半導体素子層で生成された光を半導体素子層のみを通過させて出射させることができる。これにより、従来の半導体素子層を形成するのに用いた成長用基板側から光を出射させる場合のように、成長用基板と半導体素子層との界面で光が反射することがないので、光取り出し効率の低下を抑制することができる。また、半導体素子層を、光出射面に対して所定の角度傾斜する側面を有するように構成することによって、光が光出射面で全反射したとしても、その全反射した光が光出射面に対して所定の角度傾斜する側面に入射することにより、光出射面に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。その結果、光出射面で全反射した光も出射させることができるので、光取り出し効率を向上させることができる。このように、第1の局面では、成長用基板と半導体素子層との界面での反射に起因する光取り出し効率の低下を抑制しながら、半導体素子層の傾斜した側面により光取り出し効率を向上させることができる。

【0010】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、光出射面と半導体素子層の側面とがなす角度は、鈍角である。このように構成すれば、半導体素子層の支持基板側の表面の面積が光出射面側の表面の面積よりも大きくなるので、半導体素子層で発生した熱を支持基板側に効率的に放熱することができる。また、光出射面と半導体素子層の側面とがなす角度を鈍角にすることによって、支持基板と半導体素子層とのなす角度は鋭角になるので、支持基板と半導体素子層とのなす角度が鈍角である場合に比べて、支持基板と半導体素子層とを半田を介して接合する際に、溶融した半田が半導体素子層の側面に回り込み難くなる。これにより、半導体素子層の側面に半田が回り込むことに起因する短絡不良を抑制することができる。また、半導体素子層に含まれる活性層（発光層）を光出射面よりも

支持基板に近い側に配置すれば、光出射面と半導体素子層の側面とがなす角度を鈍角にしたとしても、活性層が小さくなるのを抑制することができる。

【0011】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、半導体素子層の所定の角度傾斜した側面に沿って延びるように形成された側面反射膜をさらに備える。このように構成すれば、半導体素子層の所定の角度傾斜した側面で光出射面側に反射される光を増大させることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0012】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、少なくとも支持基板と半導体素子層との間に設けられた反射膜をさらに備える。このように構成すれば、支持基板側に向かって進む光を光出射面側に反射させることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0013】

上記第1の局面による発光素子において、好ましくは、光出射面は、凹凸形状に形成されている。このように構成すれば、光出射面で光が全反射するのを抑制することができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0014】

この発明の第2の局面による発光素子の製造方法は、成長用基板上に、少なくとも光出射面に対して所定の角度傾斜した側面を有する半導体素子層を形成する工程と、光出射面とは反対側に支持基板を設置する工程と、支持基板に、半導体素子層を接合する工程と、成長用基板を除去する工程とを備えている。

【0015】

この第2の局面による発光素子の製造方法では、上記のように、成長用基板上に、少なくとも光出射面に対して所定の角度傾斜した側面を有する半導体素子層を形成した後、光出射面とは反対側に支持基板を設置するとともに、その支持基板に半導体素子層を接合し、かつ、成長用基板を除去することによって、半導体素子層で生成された光を支持基板とは反対側の光出射面から出射させることができるので、半導体素子層で生成された光を半導体素子層のみを通過させて出射させることができる。これにより、従来の半導体素子層を形成するのに用いた成長用基板側から光を出射させる場合のように、成長用基板と半導体素子層との界面で光が反射することがないので、光取り出し効率の低下を抑制することが可能な発光素子を容易に形成することができる。また、半導体素子層を、光出射面に対して所定の角度傾斜する側面を有するように構成することによって、光が光出射面で全反射したとしても、その全反射した光が光出射面に対して所定の角度傾斜する側面に入射することにより、光出射面に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。その結果、光出射面で全反射した光も出射させることができるので、光取り出し効率を向上させることが可能な発光素子を容易に形成することができる。このように、第1の局面では、成長用基板と半導体素子層との界面での反射に起因する光取り出し効率の低下を抑制しながら、半導体素子層の傾斜した側面により光取り出し効率を向上させることが可能な発光素子を容易に形成することができる。

【0016】

なお、上記第1の局面による発光素子において、支持基板は、導電性基板を含んでいてもよい。このように構成すれば、一方および他方の2つの電極を、半導体素子層を挟んで対向するように配置することができる。これにより、半導体素子層の一方側だけに2つの電極を配置する絶縁性基板を用いた発光素子に比べて、発光面積を大きくすることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0017】

また、上記第1の局面による発光素子において、半導体素子層は、窒化物系半導体素子層を含んでいてもよい。このように構成すれば、窒化物系半導体素子層を含む発光素子において、容易に、光取り出し効率を向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0019】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。まず、図1を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造について説明する。なお、図1の素子中の矢印は、光の経路を示している。

【0020】

第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子では、図1に示すように、光出射面11とは反対側に、導電性の支持基板1が設置されている。この導電性の支持基板1は、半導体、金属、導電性樹脂フィルム、または、金属と金属酸化物との複合材料からなる。支持基板1に使用される半導体としては、劈開性を有するSi、SiC、GaAsおよびZnOなどがある。また、支持基板1に使用される金属としては、Al、Fe-NiおよびCu-Wなどがある。また、支持基板1に使用される導電性樹脂フィルムとしては、金属などの導電性微粒子が分散した樹脂フィルムなどがある。また、支持基板1に使用される金属と金属酸化物との複合材料としては、Cu-CuOなどがある。また、支持基板1の上には、支持基板1側から約200nmの厚みを有するAg層と約5nmの厚みを有するAl層とが順次形成されたp側電極2が、半田(図示せず)により接合されている。このp側電極2は、反射電極として機能する。なお、p側電極2は、本発明の「反射膜」の一例である。

【0021】

p側電極2上には、約0.3μmの厚みを有するMgがドーピングされたp型Ga_{0.95}In_{0.05}Nからなるp型コンタクト層3が形成されている。p型コンタクト層3上には、約5nmの厚みを有するMgがドーピングされたp型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型クラッド層4が形成されている。p型クラッド層4上には、約5nmの厚みを有するMgがドーピングされたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるp型キャップ層5が形成されている。p型キャップ層5上には、単一量子井戸(SQW)構造を有する活性層6が形成されている。この活性層6は、約5nmの厚みを有するアンドープのGa_{0.8}In_{0.2}Nからなる井戸層を含む。活性層6上には、約0.15μmの厚みを有するSiがドーピングされたn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型クラッド層7が形成されている。n型クラッド層7上には、約0.5μmの厚みを有するSiがドーピングされたn型GaNからなるn型コンタクト層8が形成されている。そして、p型コンタクト層3、p型クラッド層4、p型キャップ層5、活性層6、n型クラッド層7およびn型コンタクト層8によって、窒化物系半導体素子層9が構成されている。なお、窒化物系半導体素子層9は、本発明の「半導体素子層」の一例である。

【0022】

ここで、第1実施形態では、窒化物系半導体素子層9は、支持基板1側から光出射面11側に向かって先細り形状になるように、約60°傾斜した側面9aを有する。そして、窒化物系半導体素子層9の傾斜した側面9aと光出射面11とがなす角度は、約120°の鈍角になっている。

【0023】

また、n型コンタクト層8上の所定領域には、n側電極10が形成されている。このn側電極10は、n型コンタクト層8側から順に、オーミック電極、バリア金属およびパッド金属によって構成されている。なお、n側電極10を構成するオーミック電極は、約100nmの厚みを有するAlからなる。また、n側電極10を構成するバリア金属は、約100nmの厚みを有するとともに、オーミック電極とパッド金属との反応を抑制するPtまたはTiからなる。また、n側電極10を構成するパッド金属は、約500nmの厚みを有するとともに、融着し易い金属であるAuまたはAu-Snからなる。このn側電極10は、光出射面11から出射される光が低減するのを抑制するために、n型コンタク

ト層 8 上の全面ではなく、n 型コンタクト層 8 上の所定領域に配置されている。

【0024】

第 1 実施形態では、上記のように、光出射面 11 とは反対側に支持基板 1 を設置するとともに、その支持基板 1 に窒化物系半導体素子層 9 を接合することによって、窒化物系半導体素子層 9 (活性層 6) で生成された光を支持基板 1 とは反対側の光出射面 11 から出射させることができるので、活性層 6 で生成された光を半導体素子層 9 のみを通り過ぎて出射させることができる。これにより、従来の窒化物系半導体素子層 9 を形成するのに用いた成長用基板側から光を出射させる場合のように、成長用基板と窒化物系半導体素子層 9 との界面で光が反射することがないので、光取り出し効率の低下を抑制することができる。また、窒化物系半導体素子層 9 を、支持基板 1 側から光出射面 11 側に向かって先細り形状になるように、約 60° 傾斜した側面 9a を有するように構成することによって、光が光出射面 11 で全反射したとしても、その全反射した光が光出射面 11 に対して傾斜した側面 9a に入射することにより、光出射面 11 に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。その結果、光出射面 11 で全反射した光も出射させることができるので、光取り出し効率を向上させることができる。このように、第 1 実施形態では、成長用基板と窒化物系半導体素子層 9 との界面での反射に起因する光取り出し効率の低下を抑制しながら、窒化物系半導体素子層 9 の傾斜した側面 9a により光取り出し効率を向上させることができる。

【0025】

また、第 1 実施形態では、窒化物系半導体素子層 9 の傾斜した側面 9a と光出射面 11 とがなす角度を鈍角 (約 120°) にすることによって、窒化物系半導体素子層 9 の支持基板 1 側の表面の面積が光出射面 11 側の表面の面積よりも大きくなるので、窒化物系半導体素子層 9 で発生した熱を支持基板 1 側に効率的に放熱することができる。また、窒化物系半導体素子層 9 の傾斜した側面 9a と光出射面 11 とがなす角度を鈍角 (約 120°) にすることによって、支持基板 1 と窒化物系半導体素子層 9 とのなす角度は鋭角 (約 60°) になるので、支持基板 1 と窒化物系半導体素子層 9 とのなす角度が鈍角である場合に比べて、支持基板 1 と窒化物系半導体素子層 9 とを半田を介して接合する際に、溶融した半田が窒化物系半導体素子層 9 の側面 9a の p 型層と n 型層とに跨るように回り込み難くなる。これにより、窒化物系半導体素子層 9 の側面 9a に半田が回り込むことに起因する短絡不良を抑制することができる。また、窒化物系半導体素子層 9 の活性層 6 よりも上方 (光出射面 11 側) の厚み (約 $0.65 \mu\text{m}$) を活性層 6 よりも下方 (支持基板 1 側) の厚み (約 $0.31 \mu\text{m}$) よりも大きくすることによって、活性層 6 を光出射面 11 側よりも支持基板 1 に近い側に配置することができるので、光出射面 11 と窒化物系半導体素子層 9 の側面 9a とがなす角度を鈍角にしたとしても、活性層 6 が小さくなるのを抑制することができる。

【0026】

また、第 1 実施形態では、支持基板 1 と窒化物系半導体素子層 9 との間に、反射電極として機能する p 側電極 2 を設けることによって、支持基板 1 側に向かって進む光を光出射面 11 側に反射させることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0027】

また、第 1 実施形態では、導電性の支持基板 1 を用いることによって、p 側電極 2 と n 側電極 10 とを、窒化物系半導体素子層 9 を挟んで対向するように配置することができる。これにより、窒化物系半導体素子層 9 の一方側だけに 2 つの電極を配置する絶縁性基板を用いた窒化物系半導体発光ダイオード素子に比べて、発光面積を大きくすることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0028】

図 2 ~ 図 8 は、図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図 1 ~ 図 8 を参照して、第 1 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

【0029】

まず、図2に示すように、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法を用いて、成長用基板としてのサファイア基板12上に、低温バッファ層13、n型コンタクト層8、n型クラッド層7、活性層6、p型キャップ層5、p型クラッド層4およびp型コンタクト層3を順次成長させる。

【0030】

具体的には、サファイア基板12を約400～約700の成長温度に保持した状態で、 NH_3 およびTMGa (トリメチルガリウム) からなる原料ガスと、 SiH_4 からなるドーパントガスとを用いて、サファイア基板12の(0001)面上に、約10nm～約50nmの厚みを有する非単結晶のアンドープGaNからなる低温バッファ層13を成長させる。この際、 NH_3 およびTMAI (トリメチルアルミニウム) からなる原料ガスを用いることにより、n型AlNからなる低温バッファ層13を成長させてもよいし、 NH_3 、TMGaおよびTMAIからなる原料ガスを用いることにより、n型AlGaNからなる低温バッファ層13を成長させてもよい。

【0031】

次に、サファイア基板12を約1000～約1200 (たとえば、約1150) の単結晶成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガス (H_2 の含有率は約50%) と、 NH_3 およびTMGaからなる原料ガスと、 SiH_4 からなるドーパントガスとを用いて、低温バッファ層13上に、約0.5 μm の厚みを有するSiがドーパされた単結晶のn型GaNからなるn型コンタクト層8を約3 $\mu\text{m}/\text{h}$ の成長速度で成長させる。この後、キャリアガスを H_2 および N_2 (H_2 の含有率は約1%～約3%) に変えるとともに、原料ガスを NH_3 、TMGaおよびTMAIに変えて、n型コンタクト層8上に、約0.15 μm の厚みを有するSiがドーパされた単結晶のn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなるn型クラッド層7を約3 $\mu\text{m}/\text{h}$ の成長速度で成長させる。

【0032】

次に、サファイア基板12を約700～約1000の単結晶成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガス (H_2 の含有率は約1%～約5%) と、 NH_3 、TMGaおよびTMIn (トリメチルインジウム) からなる原料ガスとを用いて、n型クラッド層7上に、約5nmの厚みを有する単結晶のアンドープの $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}$ からなる井戸層を約0.4nm/sの成長速度で成長させる。これにより、井戸層を含むSQW構造の活性層6を成長させる。続いて、原料ガスを NH_3 、TMGaおよびTMAIに変えるとともに、 CP_2Mg からなるドーパントガスを加えて、約5nmの厚みを有するMgがドーパされた単結晶のp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなるp型キャップ層5を約0.4nm/sの成長速度で成長させる。

【0033】

次に、サファイア基板12を約1000～約1200 (たとえば、約1150) の単結晶成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガス (H_2 の含有率は約1%～約3%) と、 NH_3 、TMGaおよびTMAIからなる原料ガスと、 CP_2Mg からなるドーパントガスとを用いて、p型キャップ層5上に、約5nmの厚みを有するMgがドーパされた単結晶のp型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型クラッド層4を約3 $\mu\text{m}/\text{h}$ の成長速度で成長させる。続いて、サファイア基板12を約700～約1000 (たとえば、約850) の単結晶成長温度に保持した状態で、原料ガスを NH_3 、TMGaおよびTMInに変えるとともに、ドーパントガスを用いなくて、p型クラッド層4上に、約0.3 μm の厚みを有するアンドープの単結晶の $\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{N}$ からなるコンタクト層 (図示せず) を約0.5nm/sの成長速度で成長させる。

【0034】

次に、サファイア基板12を約400～約900 (たとえば、約800) に保持した状態で、 N_2 雰囲気中においてアニールすることによって、上記した窒化物系半導体各層の水素濃度を約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下に低下させる。この後、 N_2 からなるキャ

リアガスと、 CP_2Mg からなるドーパントガスとを用いて、コンタクト層中に約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ~ 約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Mg を拡散させることによって、コンタクト層を Mg がドーパされた p 型コンタクト層 3 にする。このようにして、p 型コンタクト層 3、p 型クラッド層 4、p 型キャップ層 5、活性層 6、n 型クラッド層 7 および n 型コンタクト層 8 によって構成される窒化物系半導体素子層 9 を形成する。この後、熱処理または電子線処理を行うことにより、p 型コンタクト層 3、p 型クラッド層 4 および p 型キャップ層 5 の p 型化を行う。

【0035】

次に、図 3 に示すように、真空蒸着法などを用いて、p 型コンタクト層 3 上に、Al 層と Ag 層とからなる p 側電極 2 を形成する。この際、約 5 nm の厚みを有する Al 層を島状に形成した後、全面を覆うように、約 200 nm の厚みを有する Ag 層を形成する。

【0036】

次に、図 4 に示すように、p 側電極 2 に、半導体、金属、導電性樹脂フィルム、または、金属と金属酸化物との複合材料からなる導電性の支持基板 1 を接合する。この際、Au-Sn や Pd-Sn などからなる半田を介して、p 側電極 2 に支持基板 1 を接合してもよいし、Ag からなる導電性ペーストを介して、p 側電極 2 に支持基板 1 を接合してもよい。また、p 側電極 2 に支持基板 1 を直接貼り合せた後、約 400 ~ 約 1000 の温度条件下で加圧することによって、p 側電極 2 に支持基板 1 を接合してもよい。

【0037】

この後、サファイア基板 12 に対して研磨やレーザ照射などを行うことによって、サファイア基板 12 を除去する。この際、ドライエッチング技術やウェットエッチング技術を用いて、サファイア基板 12 を除去してもよい。そして、 CF_4 ガスなどによるドライエッチング技術または熱リン酸液などによるウェットエッチング技術を用いて、低温バッファ層 13 を除去する。これにより、図 5 に示すように、n 型コンタクト層 8 の表面が露出された状態にする。

【0038】

次に、図 6 に示すように、n 型コンタクト層 8 の表面上に、n 型コンタクト層 8 とは反対側に向かって先細り形状となる台形状の Al からなるマスク層 14 を形成する。具体的には、まず、電子ビーム蒸着法を用いて、n 型コンタクト層 8 の表面上に、約 $2.5 \mu\text{m}$ の厚みを有する Al 層 (図示せず) を形成する。この後、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、n 型コンタクト層 8 とは反対側に向かって先細り形状となる台形状になるように Al 層を加工することによって、マスク層 14 を形成する。

【0039】

次に、図 7 に示すように、平行平板型ドライエッチング装置を用いて、エッチング深さが p 側電極 2 の表面に達するまで、マスク層 14 と窒化物系半導体素子層 9 とを同時にエッチングする。この際、エッチング条件として、放電出力および圧力を、それぞれ、約 600 W および約 $6 \times 10^2 \text{ Pa}$ ~ 約 1.5 kPa に設定するとともに、 CF_4 からなるエッチングガスを用いる。上記のようなエッチング条件に設定することによって、マスク層 14 と窒化物系半導体素子層 9 とのエッチングレートを実質的に等しくすることができるので、窒化物系半導体素子層 9 は、マスク層 14 の形状を反映した形状になる。すなわち、窒化物系半導体素子層 9 は、支持基板 1 側から n 型コンタクト層 8 に向かって先細り形状になるとともに、窒化物系半導体素子層 9 の傾斜した側面 9a と n 型コンタクト層 8 の表面とがなす角度が鈍角になる。この後、希塩酸を用いて、マスク層 14 を除去する。

【0040】

次に、図 8 に示すように、真空蒸着法などを用いて、n 型コンタクト層 8 の表面上の所定領域に、n 側電極 10 を形成する。この際、n 型コンタクト層 8 側から順に、オーミック電極、バリア金属およびパッド金属を形成する。なお、n 側電極 10 を構成するオーミック電極は、約 100 nm の厚みを有する Al からなる。また、n 側電極 10 を構成するバリア金属は、約 100 nm の厚みを有する Pt または Ti からなる。また、n 側電極 10 を構成するパッド金属は、約 500 nm の厚みを有する Au または Au-Sn からなる

。

【0041】

この後、素子分離領域15に沿って、素子分離を行う。この際、ダイシングを用いて素子分離領域15に切込みを入れた後、その切込みに沿って素子を分離してもよい。また、エッチング技術を用いて素子分離領域15に切込みを入れた後、その切込みに沿って素子を分離してもよい。また、ダイシングにより支持基板1の素子分離領域15に切込みを入れるとともに、エッチング技術により窒化物系半導体素子層9の素子分離領域15に切込みを入れた後、ダイシングおよびエッチング技術による切込みに沿って素子を分離してもよい。上記のようなダイシングとエッチング技術とを組み合わせる場合には、窒化物系半導体素子層9に刃物が接触しないので、窒化物系半導体素子層9へのダメージが低減される。このようにして、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子が形成される。

【0042】

(第2参考形態)

図9は、本発明の第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。図9を参照して、この第2参考形態では、上記第1実施形態と異なり、窒化物系半導体素子層の傾斜した側面と光出射面とがなす角度を鋭角にするとともに、窒化物系半導体素子層の傾斜した側面に側面反射膜を設ける場合について説明する。なお、図9の素子中の矢印は、光の経路を示している。

【0043】

第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子では、図9に示すように、光出射面31とは反対側に設置された導電性の支持基板21に、約2nmの厚みを有するAlからなるn側電極22が形成されている。このn側電極22は、反射電極として機能する。なお、n側電極22は、本発明の「反射膜」の一例である。

【0044】

n側電極22上には、約0.5μmの厚みを有するSiがドープされたn型GaNからなるn型コンタクト層23が形成されている。n型コンタクト層23上には、約0.1μmの厚みを有するSiがドープされたn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型クラッド層24が形成されている。n型クラッド層24上には、多重量子井戸(MQW)構造を有する活性層25が形成されている。この活性層25は、約3nmの厚みを有するアンドープのGa_{0.95}In_{0.05}Nからなる3つの井戸層(図示せず)と約15nmの厚みを有するAl_{0.05}Ga_{0.95}Inからなる2つの障壁層(図示せず)とが交互に積層されたMQW構造を有する。活性層25上には、約5nmの厚みを有するMgがドープされたp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるp型キャップ層26が形成されている。p型キャップ層26上には、約0.1μmの厚みを有するMgがドープされたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるp型クラッド層27が形成されている。p型クラッド層27上には、約0.05μmの厚みを有するMgがドープされたp型GaNからなるp型コンタクト層28が形成されている。そして、n型コンタクト層23、n型クラッド層24、活性層25、p型キャップ層26、p型クラッド層27およびp型コンタクト層28によって、窒化物系半導体素子層29が構成されている。なお、窒化物系半導体素子層29は、本発明の「半導体素子層」の一例である。

【0045】

ここで、第2参考形態では、窒化物系半導体素子層29のn型コンタクト層23側の先端部分は、光出射面31側から支持基板21側に向かって先細り形状になるように、約45°傾斜した側面29aを有する。具体的には、n型コンタクト層23の側面およびn型クラッド層24の側面の一部が傾斜している。また、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29aと光出射面31とがなす角度は、鋭角(約45°)になっている。また、第2参考形態では、n側電極22が、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29a上に沿って延びるように形成されている。なお、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29a上に位置するn側電極22は、本発明の「側面反射膜」の一例である。

【0046】

また、p型コンタクト層28上には、p側電極30が形成されている。このp側電極30は、p型コンタクト層28側から約5nmの厚みを有するNi層と約5nmの厚みを有するAu層とが順次形成された透明電極によって構成されている。

【0047】

第2参考形態では、上記のように、窒化物系半導体素子層29のn型コンタクト層23側の先端部分を、光出射面31側から支持基板21側に向かって先細り形状になるように、約45°傾斜した側面29aを有するように構成することによって、上記第1実施形態のように、窒化物系半導体素子層9を、支持基板1側から光出射面11側に向かって先細り形状になるように、約60°傾斜した側面9aを有するように構成した場合と同様、光出射面31に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。また、第2参考形態では、光出射面31とは反対側に支持基板21を設置することによって、上記第1実施形態と同様、窒化物系半導体素子層29（活性層25）で生成された光を支持基板21とは反対側の光出射面31から出射させることができるので、活性層25で生成された光を半導体素子層29のみを通過させて出射させることができる。その結果、上記第1実施形態と同様、成長用基板と窒化物系半導体素子層29との界面での反射に起因する光取り出し効率の低下を抑制しながら、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29aにより光取り出し効率を向上させることができる。

【0048】

また、第2参考形態では、n側電極22を、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29a上にも形成することによって、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29aで反射される光を増大させることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0049】

なお、第2参考形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

【0050】

図10～図18は、図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図9～図18を参照して、第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

【0051】

まず、図10に示すように、MOCVD法を用いて、成長用基板としての6H-SiC基板32の(0001)面上に、約10nm～約50nmの厚みを有するAlGaInまたはGaNからなるバッファ層33を成長させる。その後、バッファ層33上に、約0.5μmの厚みを有するアンドープのGaN層34を成長させる。

【0052】

次に、GaN層34上に、分離層（空隙層）35を形成する。具体的には、真空蒸着法を用いて、GaN層34上に、約10nm～約200nmの厚みを有するTi層（図示せず）を形成した後、アンモニア雰囲気中で、約150の温度条件下で熱処理する。これにより、Ti層が窒化されることにより、網目状の断面を有するTiN層からなる分離層35が形成される。この分離層35は、網目状の断面を有するので、層中に空隙が形成されるとともに、GaN層34の一部が露出される。なお、図10には、分離層35中の空隙を図示している。

【0053】

次に、MOCVD法を用いて、分離層35上に、約0.5μmの厚みを有するSiがドーパされたn型GaNからなるn型コンタクト層23を成長させる。この際、n型コンタクト層23は、GaN層34の露出した表面上に選択的に縦方向に成長した後、徐々に横方向に成長する。このため、n型コンタクト層23に形成される転位が横方向に曲げられるので、縦方向に伝播された転位が形成され難くなる。これにより、GaN層34の転位密度に比べて、n型コンタクト層23の転位密度を大幅に低減することができる。

【0054】

続いて、 n 型コンタクト層23上に、約 $0.1\ \mu\text{m}$ の厚みを有するSiがドーブされた n 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる n 型クラッド層24を成長させる。この後、約 $3\ \text{nm}$ の厚みを有するアンドープの $\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{N}$ からなる3つの井戸層（図示せず）と約 $15\ \text{nm}$ の厚みを有する $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{In}$ からなる2つの障壁層（図示せず）とを交互に成長させる。これにより、3つの井戸層と2つの障壁層とが交互に積層されたMQW構造の活性層25を成長させる。

【0055】

次に、活性層25上に、約 $5\ \text{nm}$ の厚みを有するMgがドーブされた p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ からなる p 型キャップ層26を成長させる。この後、 p 型キャップ層26上に、約 $0.1\ \mu\text{m}$ の厚みを有するMgがドーブされた p 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる p 型クラッド層27、および、約 $0.05\ \mu\text{m}$ の厚みを有するMgがドーブされた p 型 GaN からなる p 型コンタクト層28を順次成長させる。このようにして、 n 型コンタクト層23、 n 型クラッド層24、活性層25、 p 型キャップ層26、 p 型クラッド層27および p 型コンタクト層28によって構成される窒化物系半導体素子層29を形成する。この後、熱処理または電子線処理を行うことにより、 p 型コンタクト層28、 p 型クラッド層27および p 型キャップ層26の p 型化を行う。

【0056】

次に、図11に示すように、 p 型コンタクト層28に、 In-Sn などの融点の低い金属からなる融着層36を介して、仮基板としてのサファイア基板37を接合する。この後、分離層35よりも上側の窒化物系半導体素子層29と分離層35よりも下側の各層（32～34）とを分離する。この際、HF液と HNO_3 液との混合液によるウェットエッチング技術を用いて分離層35を除去してもよいし、外部から物理的な力を加えることにより分離層35を除去してもよい。また、分離層35よりも上側の窒化物系半導体素子層29と分離層35よりも下側の各層（32～34）とを互いに逆方向に引張ることにより分離してもよい。これにより、図12に示すように、 n 型コンタクト層23の表面が露出された状態にする。

【0057】

次に、図13に示すように、図6に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、 n 型コンタクト層23の表面上に、 n 型コンタクト層23とは反対側に向かって先細り形状となる台形状のAlからなるマスク層38を形成する。

【0058】

次に、図14に示すように、図7に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、エッチング深さが n 型クラッド層24の途中に達するまで、マスク層38と窒化物系半導体素子層29とを同時にエッチングする。これにより、窒化物系半導体素子層29の n 型コンタクト層23側の先端部分は、マスク層38の形状を反映した形状になる。すなわち、窒化物系半導体素子層29の n 型コンタクト層23側の先端部分は、サファイア基板37側から n 型コンタクト層23側に向かって先細り形状になるとともに、窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29aと n 型コンタクト層23の表面とがなす角度が鋭角になる。この後、希塩酸を用いて、マスク層38を除去する。

【0059】

次に、図15に示すように、真空蒸着法などを用いて、 n 型コンタクト層23の表面および窒化物系半導体素子層29の傾斜した側面29aを覆うように、約 $2\ \text{nm}$ の厚みを有するAlからなる n 側電極22を形成する。

【0060】

次に、図16に示すように、図4に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、 n 側電極22に、導電性の支持基板21を接合する。この後、サファイア基板37を除去した後、融着層36を除去する。これにより、図17に示すように、 p 型コンタクト層28の表面が露出された状態にする。

【0061】

次に、図18に示すように、真空蒸着法などを用いて、 p 型コンタクト層28上に、 p

側電極 30 を形成する。この際、p 型コンタクト層 28 側から約 5 nm の厚みを有する Ni 層および約 5 nm の厚みを有する Au 層を順次形成する。

【0062】

この後、図 8 に示した第 1 実施形態と同様のプロセスを用いて、素子分離領域 39 に沿って、素子分離を行う。ここで、素子分離領域 39 を隔てて隣接する窒化物系半導体素子層 29 の傾斜した側面 29a 間には、空間が設けられている。このため、ダイシングを用いて支持基板 21 に切込みを入れる際に、刃物が窒化物系半導体素子層 29 に接触することを抑制することができるので、窒化物系半導体素子層 29 へのダメージを低減することができる。このようにして、図 9 に示した第 2 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子が形成される。

【0063】

(第 3 参考形態)

図 19 は、本発明の第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。図 19 を参照して、この第 3 参考形態では、上記第 1 および第 2 参考形態と異なり、窒化物系半導体素子層の傾斜した側面と光出射面とがなす角度を鈍角にするとともに、光出射面を凹凸形状に形成する場合について説明する。なお、図 19 の素子中の矢印は、光の経路を示している。

【0064】

第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子では、図 19 に示すように、光出射面 61 とは反対側に設置された導電性の支持基板 51 に、上記第 1 実施形態の p 側電極 2 と同様の組成および厚みを有する p 側電極 52 が接合されている。なお、p 側電極 52 は、本発明の「反射膜」の一例である。

【0065】

p 側電極 52 上には、約 0.2 μm の厚みを有する Mg がドーパされた p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 53 が形成されている。この p 型コンタクト層 53 は、クラッド層としての機能も有する。p 型コンタクト層 53 上には、約 5 nm の厚みを有するアンドープの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるキャップ層 54 が形成されている。キャップ層 54 上には、MQW 構造を有する活性層 55 が形成されている。この活性層 55 は、約 10 nm の厚みを有するアンドープの GaN からなる 4 つの障壁層 (図示せず) と約 3 nm の厚みを有するアンドープの $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ からなる 3 つの井戸層 (図示せず) とが交互に積層された MQW 構造を有する。活性層 55 上には、約 0.05 μm の厚みを有する Ge がドーパされた n 型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 56 が形成されている。n 型クラッド層 56 上には、約 0.5 μm の厚みを有する Ge がドーパされた n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 57 が形成されている。n 型コンタクト層 57 上には、約 2 μm の厚みを有するアンドープの GaN からなる光透過層 58 が形成されている。この光透過層 58 は、開口部 58a を有する。そして、p 型コンタクト層 53、キャップ層 54、活性層 55、n 型クラッド層 56、n 型コンタクト層 57 および光透過層 58 によって、窒化物系半導体素子層 59 が構成されている。なお、窒化物系半導体素子層 59 は、本発明の「半導体素子層」の一例である。

【0066】

ここで、第 3 参考形態では、窒化物系半導体素子層 59 の光透過層 58 側の先端部分は、支持基板 51 側から光出射面 61 側に向かって先細り形状になるように、約 45° 傾斜した側面 59a を有する。具体的には、光透過層 58 の側面の一部が約 45° で傾斜している。また、窒化物系半導体素子層 59 の傾斜した側面 59a と光出射面 61 とがなす角度は、鈍角 (約 135°) になっている。また、第 3 参考形態では、光出射面 61 となる光透過層 58 の表面は、凹凸形状に形成されている。

【0067】

また、光透過層 58 の開口部 58a 内には、n 型コンタクト層 57 の表面に接触するように、上記第 1 実施形態の n 側電極 10 と同様の組成および厚みを有する n 側電極 60 が形成されている。

【0068】

第3参考形態では、上記のように、窒化物系半導体素子層59の光透過層58側の先端部分を、支持基板51側から光出射面61側に向かって先細り形状になるように、約45°傾斜した側面59aを有するように構成することによって、上記第1および第2参考形態と同様、光出射面61に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。また、第3参考形態では、光出射面61とは反対側に支持基板51を設置することによって、上記第1および第2参考形態と同様、窒化物系半導体素子層59（活性層55）で生成された光を支持基板51とは反対側の光出射面61から出射させることができるので、活性層55で生成された光を窒化物系半導体素子層59のみを通過させて出射させることができる。その結果、上記第1および第2参考形態と同様、成長用基板と窒化物系半導体素子層59との界面での反射に起因する光取り出し効率の低下を抑制しながら、窒化物系半導体素子層59の傾斜した側面59aにより光取り出し効率を向上させることができる。

【0069】

また、第3参考形態では、n型GaNからなるn型コンタクト層57上に、アンドープのGaNからなる光透過層58を形成することによって、光透過層58には不純物をドーピングすることに起因する不純物準位が形成されないので、光透過層58における不純物準位に起因する光吸収を、n型コンタクト層57およびn型クラッド層56に比べて抑制することができる。したがって、光出射面61（光透過層58の表面）で全反射した光は、n型コンタクト層57およびn型クラッド層56に比べて光吸収が少ない光透過層58を通過することになる。このため、光出射面61で全反射した光が不純物準位に起因する光吸収が生じやすいn型コンタクト層57およびn型クラッド層56のみを通過する場合に比べて、光が吸収される確率を低くすることができる。その結果、光出射面61で全反射した光が吸収されるのを抑制することができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0070】

また、第3参考形態では、光出射面61（光透過層58の表面）を凹凸形状に形成することによって、光出射面61で光が全反射するのを抑制することができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0071】

なお、第3参考形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

【0072】

図20～図26は、図19に示した第3参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための平面図および断面図である。次に、図19～図26を参照して、第3参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

【0073】

まず、図20（平面図）および図21（図20の100-100線に沿った断面図）に示すように、プラズマCVD法を用いて、成長用基板としてのSi基板62上の所定領域に、SiNからなるマスク層63を形成する。具体的には、図20に示すように、平面的に見て、各素子の形成領域65を囲む部分63aと、部分63aによって囲まれた格子状の部分63bとを有するように、マスク層63を形成する。なお、各素子の形成領域65は、約500 μ m角の正方形である。そして、マスク層63の部分63aの幅W1を約1.8 μ mにするとともに、マスク層63の部分63bの幅W2を約0.6 μ mにする。また、図21に示すように、マスク層63の部分63aの側面を、所定の角度傾斜させる。そして、マスク層63の部分63aの高さT1を約1.8 μ mにするとともに、マスク層63の部分63bの高さ（厚み）T2を約0.4 μ mにする。

【0074】

次に、図22に示すように、MOCVD法を用いて、SiC基板62上に、マスク層63を覆うように、約10nm～約50nmの厚みを有するAlNからなるバッファ層64

を成長させる。この後、バッファ層 6 4 上に、約 $2\ \mu\text{m}$ の厚みを有するアンドープの GaN からなる光透過層 5 8 を成長させる。この際、光透過層 5 8 は、マスク層 6 3 が形成された領域以外の領域に位置するバッファ層 6 4 上に選択的に縦方向に成長した後、徐々に横方向に成長することにより表面が平坦となる。このため、光透過層 5 8 に形成される転位が横方向に曲げられるので、縦方向に伝播された転位が形成され難くなる。これにより、光透過層 5 8 の転位密度を大幅に低減することができる。

【0075】

続いて、光透過層 5 8 上に、約 $0.5\ \mu\text{m}$ の厚みを有する Ge がドープされた n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 5 7、および、約 $0.05\ \mu\text{m}$ の厚みを有する Ge がドープされた n 型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 5 6 を順次成長させる。この後、約 $10\ \text{nm}$ の厚みを有するアンドープの GaN からなる 4 つの障壁層（図示せず）と約 $3\ \text{nm}$ の厚みを有するアンドープの $\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$ からなる 3 つの井戸層（図示せず）とを交互に成長させる。これにより、4 つの障壁層と 3 つの井戸層とが交互に積層された MQW 構造の活性層 5 5 を成長させる。

【0076】

次に、活性層 5 5 上に、約 $5\ \text{nm}$ の厚みを有するアンドープの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるキャップ層 5 4、および、約 $0.2\ \mu\text{m}$ の厚みを有する Mg がドープされた p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 5 3 を順次成長させる。このようにして、p 型コンタクト層 5 3、キャップ層 5 4、活性層 5 5、n 型クラッド層 5 6、n 型コンタクト層 5 7 および光透過層 5 8 によって構成される窒化物系半導体素子層 5 9 を形成する。この後、熱処理または電子線処理を行うことにより、p 型コンタクト層 5 3 の p 型化を行う。

【0077】

次に、図 2 3 に示すように、真空蒸着法などを用いて、p 型コンタクト層 5 3 上に、上記第 1 実施形態の p 側電極 2 と同様の組成および厚みを有する p 側電極 5 2 を形成した後、図 4 に示した第 1 実施形態と同様のプロセスを用いて、p 側電極 5 2 に、導電性の支持基板 5 1 を接合する。この後、ウェットエッチング技術を用いて、Si 基板 6 2 を除去する。これにより、図 2 4 に示すように、マスク層 6 3 およびバッファ層 6 4 が露出された状態にする。

【0078】

さらに、エッチング技術を用いて、マスク層 6 3 およびバッファ層 6 4 を除去することによって、図 2 5 に示すように、光透過層 5 8 を露出させる。これにより、光透過層 5 8 は、マスク層 6 3 の部分 6 3 a および 6 3 b（図 2 0 および図 2 1 参照）の形状を反映した形状になる。すなわち、窒化物系半導体素子層 5 9 の光透過層 5 8 側の先端部分は、支持基板 5 1 側から光透過層 5 8 側に向かって先細り形状になるとともに、窒化物系半導体素子層 5 9 の傾斜した側面 5 9 a と光透過層 5 8 の表面とがなす角度が鈍角になる。また、窒化物系半導体素子層 5 9 を構成する光透過層 5 8 の表面は、マスク層 6 3 の格子状の部分 6 3 b の形状を反映した凹凸形状になる。

【0079】

次に、図 2 6 に示すように、エッチング技術を用いて、光透過層 5 8 の所定領域に、n 型コンタクト層 5 7 の表面が露出するように、開口部 5 8 a を形成する。この後、真空蒸着法などを用いて、光透過層 5 8 の開口部 5 8 a 内に、n 型コンタクト層 5 7 の表面に接触するように、上記第 1 実施形態の n 側電極 1 0 と同様の組成および厚みを有する n 側電極 6 0 を形成する。最後に、図 8 に示した第 1 実施形態と同様のプロセスを用いて、素子分離領域 6 6 に沿って、素子分離を行う。このようにして、図 1 9 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子が形成される。

【0080】

第 3 参考形態の製造プロセスでは、上記のように、Si 基板 6 2 上の所定領域にマスク層 6 3 を形成した後、Si 基板 6 2 上に光透過層 5 8 を成長させることによって、光透過層 5 8 が横方向成長することにより光透過層 5 8 に形成される転位が低減されるので、光透過層 5 8 上に成長する活性層 5 5 に、転位が伝播するのを低減することができる。これ

により、活性層 55 の転位密度を低減することができるので、活性層 55 における発光効率を向上させることができるのと同時に、素子の寿命を向上させることができる。また、光透過層 58 をアンドープの GaN からなるように構成することによって、Si などの不純物がドーパされた光透過層を成長させる場合に比べて、横方向成長を促進することができる。これにより、小さい厚みで光透過層 58 の表面を平坦化することができる。

【0081】

(第4参考形態)

図27は、本発明の第4参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。図27を参照して、この第4参考形態では、上記第1実施形態、第2～第3参考形態と異なり、窒化物系半導体素子層の傾斜した側面と光出射面とがなす角度を鋭角にするとともに、窒化物系半導体素子層の傾斜した側面に側面反射膜を設け、かつ、光出射面を凹凸形状に形成する場合について説明する。なお、図27の素子中の矢印は、光の経路を示している。

【0082】

第4参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子では、図27に示すように、光出射面83とは反対側に設置された導電性の支持基板71に、上記第1実施形態のp側電極2と同様の組成および厚みを有するp側電極72が接合されている。このp側電極72は、約200nmの深さおよび約300nmの直径を有する凹部が、約600nmの格子間隔で三角格子状に形成された凹凸形状の表面を有する。なお、p側電極72は、本発明の「反射膜」の一例である。

【0083】

p側電極72上には、p側電極72の表面の凹部を埋め込むように、SiO₂からなる絶縁膜73が形成されている。また、p側電極72上には、約0.05μmの厚みを有するMgがドーパされたp型Ga_{0.95}In_{0.05}Nからなるp型コンタクト層74が形成されている。p型コンタクト層74上には、約0.1μmの厚みを有するMgがドーパされたp型GaNからなるp型クラッド層75が形成されている。p型クラッド層75上には、約5nmの厚みを有するMgがドーパされたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型キャップ層76が形成されている。p型キャップ層76上には、MQW構造を有する活性層77が形成されている。この活性層77は、約2.5nmの厚みを有するアンドープのGa_{0.75}In_{0.25}Nからなる4つの井戸層(図示せず)と約15nmの厚みを有するアンドープのGaNからなる3つの障壁層(図示せず)とが交互に積層された構造を有する。活性層77上には、約0.5μmの厚みを有するSiがドーパされたn型GaNからなるn型コンタクト層78が形成されている。このn型コンタクト層78は、クラッド層としての機能も有する。n型コンタクト層78上には、約300nmの厚みを有するアンドープのGaNからなる光透過層79が形成されている。この光透過層79は、開口部79aを有する。そして、p型コンタクト層74、p型クラッド層75、p型キャップ層76、活性層77、n型コンタクト層78および光透過層79によって、窒化物系半導体素子層80が構成されている。なお、窒化物系半導体素子層80は、本発明の「半導体素子層」の一例である。

【0084】

ここで、第4参考形態では、窒化物系半導体素子層80は、光出射面83側から支持基板71側に向かって先細り形状になるように、約70°傾斜した側面80aを有する。そして、窒化物系半導体素子層80の傾斜した側面80aと光出射面83とがなす角度は、鋭角(約70°)になっている。また、第4参考形態では、絶縁膜73が、窒化物系半導体素子層80の傾斜した側面80a上に沿って延びるように形成されている。そして、p側電極72が、窒化物系半導体素子層80の傾斜した側面80a上に位置する絶縁膜73を覆うように形成されている。なお、窒化物系半導体素子層80の傾斜した側面80a上に位置するp側電極72は、本発明の「側面反射膜」の一例である。また、第4参考形態では、窒化物系半導体素子層80を構成する光透過層79上に、約50nmの直径を有するとともに、粒径精度が約5%以下である単分散のSiO₂微粒子が単層配列されたSi

SiO_2 膜 8 1 が形成されている。この SiO_2 膜 8 1 は、光透過層 7 9 の開口部 7 9 a と連続する開口部 8 1 a を有する。ここで、 SiO_2 膜 8 1 の表面が光出射面 8 3 となるため、光出射面 8 3 は、約 50 nm の直径を有する SiO_2 微粒子に対応した凹凸形状になっている。

【0085】

また、光透過層 7 9 の開口部 7 9 a および SiO_2 膜 8 1 の開口部 8 1 a 内には、上記第 1 実施形態の n 側電極 1 0 と同様の組成および厚みを有する n 側電極 8 2 が形成されている。

【0086】

第 4 参考形態では、上記のように、窒化物系半導体素子層 8 0 を、光出射面 8 3 側から支持基板 7 1 側に向かって先細り形状になるように、約 70° 傾斜した側面 8 0 a を有するように構成することによって、上記第 1 実施形態、第 2 ~ 第 3 参考形態と同様、光出射面 8 3 に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができる。また、第 4 参考形態では、光出射面 8 3 とは反対側に支持基板 7 1 を設置することによって、上記第 1 実施形態、第 2 ~ 第 3 参考形態と同様、窒化物系半導体素子層 8 0 (活性層 7 7) で生成された光を支持基板 7 1 とは反対側の光出射面 8 3 から出射させることができるので、活性層 7 7 で生成された光を半導体素子層 8 0 のみを通わせて出射させることができる。その結果、上記第 1 実施形態、第 2 ~ 第 3 参考形態と同様、成長用基板と窒化物系半導体素子層 8 0 との界面での反射に起因する光取り出し効率の低下を抑制しながら、窒化物系半導体素子層 8 0 の傾斜した側面 8 0 a により光取り出し効率を向上させることができる。

【0087】

また、第 4 参考形態では、p 側電極 7 2 を、窒化物系半導体素子層 8 0 の傾斜した側面 8 0 a に沿って延びるように形成することによって、上記第 2 参考形態と同様、窒化物系半導体素子層 8 0 の傾斜した側面 8 0 a で反射される光を増大させることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。なお、窒化物系半導体素子層 8 0 の傾斜した側面 8 0 a と p 側電極 7 2 との間には、絶縁膜 7 3 が形成されているので、窒化物系半導体層 8 0 の側面 8 0 a に沿って p 側電極 7 2 を設けたとしても、窒化物系半導体素子層 8 0 と p 側電極 7 2 とが接触するのを防止することができる。

【0088】

また、第 4 参考形態では、n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 7 8 上に、アンドープの GaN からなる光透過層 7 9 を形成することによって、上記第 3 参考形態と同様、光透過層 7 9 における不純物準位に起因する光吸収を、n 型コンタクト層 7 8 に比べて抑制することができるので、光出射面 8 3 で全反射した光が吸収される確率を低くすることができる。その結果、上記第 3 参考形態と同様、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0089】

また、第 4 参考形態では、光透過層 7 9 上に、単分散の SiO_2 微粒子が単層配列された SiO_2 膜 8 1 を形成することによって、光出射面 8 3 (光透過層 7 9 と SiO_2 膜 8 1 との界面、および、 SiO_2 膜 8 1 の表面) における光のフレネル反射を低減することができる。具体的には、光透過層 7 9 と SiO_2 膜 8 1 との界面において、光透過層 7 9 側から SiO_2 膜 8 1 側にいくにしたがって、光透過層 7 9 の割合が徐々に小さくなるとともに、 SiO_2 膜 8 1 の割合が徐々に大きくなるので、光透過層 7 9 の屈折率から SiO_2 膜 8 1 の屈折率に徐々に変化させることができる。同様に、 SiO_2 膜 8 1 の表面と空気層との界面において、 SiO_2 膜 8 1 側から空気層側にいくにしたがって、 SiO_2 膜 8 1 の割合が徐々に小さくなるとともに、空気層の割合が徐々に大きくなるので、 SiO_2 膜 8 1 の屈折率から空気層の屈折率に徐々に変化させることができる。このように、光透過層 7 9 と SiO_2 膜 8 1 との界面、および、 SiO_2 膜 8 1 の表面と空気層との界面において、屈折率を徐々に変化させることができるので、光のフレネル反射を低減することができる。

【0090】

また、第4参考形態では、支持基板71とp型コンタクト層74との間に位置するp側電極72の表面を凹凸形状にすることによって、p型コンタクト層74とp側電極72との界面に入射した光は、p側電極72の表面の凹凸形状により回折される。これにより、光出射面83に対する光の入射角が臨界角よりも小さくなるように、光の経路を変化させることができるので、光取り出し効率をより向上させることができる。

【0091】

なお、第4参考形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

【0092】

図28～図37は、図27に示した第4参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための平面図および断面図である。次に、図27～図37を参照して、第4参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

【0093】

まず、図28(平面図)および図29(図28の200-200線に沿った断面図)に示すように、CVD法を用いて、成長用基板としてのGa_{0.95}N基板84の(0001)面上に、SiO₂膜81を形成する。具体的には、約50nmの直径を有するとともに、粒径精度が約5%以下である単分散のSiO₂微粒子が三角格子状に単層配列するように、SiO₂膜81を形成する。

【0094】

次に、図30に示すように、MOCVD法を用いて、SiO₂膜81が形成されたGa_{0.95}N基板84上に、約300nmの厚みを有するアンドープのGa_{0.95}Nからなる光透過層79を成長させる。この際、光透過層79は、SiO₂膜81のSiO₂微粒子間の隙間に位置するGa_{0.95}N基板84上に縦方向に選択的に成長した後、SiO₂膜81を覆うように横方向に成長することにより表面が平坦となる。このため、光透過層79に形成される転位が横方向に曲げられるので、縦方向に伝播された転位が形成され難くなる。これにより、比較的転位密度が低いGa_{0.95}N基板84に比べて、光透過層79の転位密度をより低減することができる。

【0095】

続いて、光透過層79上に、約0.5μmの厚みを有するSiがドープされたn型Ga_{0.95}Nからなるn型コンタクト層78を成長させる。この後、約2.5nmの厚みを有するアンドープのGa_{0.75}In_{0.25}Nからなる4つの井戸層(図示せず)と約15nmの厚みを有するアンドープのGa_{0.95}Nからなる3つの障壁層(図示せず)とを交互に成長させる。これにより、4つの井戸層と3つの障壁層とが交互に積層されたMQW構造の活性層77を成長させる。

【0096】

次に、活性層77上に、約5nmの厚みを有するMgがドープされたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型キャップ層76を成長させる。この後、p型キャップ層76上に、約0.1μmの厚みを有するMgがドープされたp型Ga_{0.95}Nからなるp型クラッド層75、および、約0.05μmの厚みを有するMgがドープされたp型Ga_{0.95}In_{0.05}Nからなるp型コンタクト層74を順次成長させる。このようにして、p型コンタクト層74、p型クラッド層75、p型キャップ層76、活性層77、n型コンタクト層78および光透過層79によって構成される窒化物系半導体素子層80を形成する。この後、熱処理または電子線処理を行うことにより、p型コンタクト層74、p型クラッド層75およびp型キャップ層76のp型化を行う。

【0097】

次に、図31に示すように、図6に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、p型コンタクト層74の表面上に、p型コンタクト層74とは反対側に向かって先細り形状となる台形状のAlからなるマスク層85を形成する。

【0098】

次に、図32に示すように、図7に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、エッチング深さがGaN基板84の表面に達するまで、マスク層85と窒化物系半導体素子層80およびSiO₂膜81とを同時にエッチングする。これにより、窒化物系半導体素子層80は、マスク層85の形状を反映した形状になる。すなわち、窒化物系半導体素子層80は、GaN基板84側からp型コンタクト層74側に向かって先細り形状になるとともに、窒化物系半導体素子層80の側面80aとp型コンタクト層74の表面とがなす角度が鈍角(約110°)になる。この後、希塩酸を用いて、マスク層85を除去する。

【0099】

次に、図33に示すように、窒化物系半導体素子層80の全面を覆うように、プラズマCVD法などにより、たとえば約200nmの厚みを有するSiO₂膜(図示せず)を形成した後、p型コンタクト層74上に位置するSiO₂膜に微細加工を施す。具体的には、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、p型コンタクト層74上に位置するSiO₂膜の所定領域を除去し、約300nmの直径を有する円形のSiO₂膜を約600nmの格子間隔で三角格子状に形成する。これにより、p型コンタクト層74上の所定領域が露出するように、SiO₂からなる絶縁膜73を形成する。

【0100】

次に、図34に示すように、真空蒸着法などを用いて、絶縁膜73上に、p型コンタクト層74の表面に接触するように、上記第1実施形態のp側電極2と同様の組成および厚みを有するp側電極72を形成する。これにより、p側電極72のp型コンタクト層74上に位置する領域は、凹凸形状になる。

【0101】

次に、図35に示すように、図4に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、p側電極72に、導電性の支持基板71を接合する。この後、外部から物理的な力を加えることにより、GaN基板84を除去する。これにより、図36に示すように、SiO₂膜81が露出された状態にする。

【0102】

次に、図37に示すように、エッチング技術を用いて、SiO₂膜81および光透過層79の所定領域に、それぞれ、n型コンタクト層78の表面が露出するように、開口部81aおよび79aを形成する。この際、SiO₂微粒子はエッチングし易いので、容易に、SiO₂膜81に開口部81aを形成することができる。この後、真空蒸着法などを用いて、SiO₂膜81の開口部81aおよび光透過層79の開口部79a内に、n型コンタクト層78の表面に接触するように、上記第1実施形態のn側電極10と同様の組成および厚みを有するn側電極82を形成する。

【0103】

この後、図8に示した第1実施形態と同様のプロセスを用いて、素子分離領域86に沿って、素子分離を行う。ここで、素子分離領域86を隔てて隣接する窒化物系半導体素子層80の傾斜した側面80a間には、空間が設けられている。このため、上記第2参考形態と同様、ダイシングを用いて支持基板71に切込みを入れる際に、刃物が窒化物系半導体素子層80に接触するのを抑制することができるので、窒化物系半導体素子層80へのダメージを低減することができる。このようにして、図27に示した第4参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子が形成される。

【0104】

第4参考形態の製造プロセスでは、上記のように、SiO₂膜81が形成されたGaN基板84上に、光透過層79を成長させることによって、μmオーダの幅を有する通常を選択成長マスクを用いる場合に比べて、SiO₂膜81のSiO₂微粒子の直径が約50nmと小さいので、横方向に成長を始めた光透過層79を構成するGaN層が、成長初期の段階で隣接するGaN層と一体となる。これにより、より小さい厚みで光透過層79の表面を平坦化することができる。その結果、光透過層79の厚みが大きくなることに起因して、GaN基板84の反りやクラックの発生を抑制することができる。また、光透過層79をアンドープのGaNからなるように構成することによって、上記第3参考形態と同

様、横方向成長を促進することができるので、これによっても、より小さい厚みで光透過層79の表面を平坦化することができる。

【0105】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0106】

たとえば、上記第1実施形態、第2～第4参考形態では、GaN、AlGaInおよびInGaInなどからなる層を含む窒化物系半導体素子層を用いたが、本発明はこれに限らず、GaN、AlGaInおよびInGaInからなる層以外の窒化物系半導体層を含んでもよい。GaN、AlGaInおよびInGaIn以外の窒化物系半導体としては、たとえば、AlN（窒化アルミニウム）、InN（窒化インジウム）、BN（窒化ホウ素）およびTiN（窒化タリウム）などのIII-V族窒化物半導体や、III-V族窒化物半導体の混晶などが考えられる。また、上記したIII-V族窒化物半導体やその混晶に、As、PおよびSbの少なくとも1つの元素を含む混晶なども考えられる。また、ZnOなどの酸化物系半導体からなる層を含む半導体素子層にも適用可能である。また、半導体の結晶構造としては、ウルツ鉱型構造であってもよいし、閃亜鉛鉱型構造であってもよい。

【0107】

また、上記第1実施形態、第2～第4参考形態では、窒化物系半導体各層の表面が(001)面になるように積層したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体各層の表面が他の方向になるように積層してもよい。たとえば、窒化物系半導体各層の表面が(110)面や(11-20)面などの(H、K、-H-K、0)面になるように積層してもよい。

【0108】

また、上記第1実施形態、第2～第4参考形態では、MOCVD法を用いて、窒化物系半導体各層を結晶成長させたが、本発明はこれに限らず、HVPE(Halide Vapor Phase Epitaxy)法やガスソースMBE(Molecular Beam Epitaxy)法などを用いて、窒化物系半導体各層を結晶成長させてもよい。

【0109】

また、上記第1実施形態、第2～第4参考形態では、成長用基板として、サファイア基板、SiC基板、Si基板またはGaIn基板を用いたが、本発明はこれに限らず、GaAs基板、MgO基板、ZnO基板およびスピネル基板などを成長用基板として用いてもよい。

【0110】

また、上記第1実施形態、第3および第4参考形態では、Ag層とAl層とからなるp側電極を用いたが、本発明はこれに限らず、発光波長に応じて、p側電極における光吸収が少なくなるように、p側電極を構成する金属層の厚みや材料を変更してもよい。また、p側電極は、窒化物系半導体素子層の全面に形成してもよいし、一部のみ形成してもよい。窒化物系半導体素子層の一部のみp側電極を形成する場合は、p側電極が形成される領域以外の領域に光を反射させる層を形成するのが好ましい。また、導電性基板との接合力を強くするために、p側電極と導電性基板との間にパッド電極を形成するのが好ましい。また、導電性基板との接合に半田を用いる場合は、p側電極の保護膜としてPtやPdなどからなるバリアメタルを形成するのが好ましい。

【0111】

また、上記第1実施形態、第3および第4参考形態では、Alからなるオーミック電極、PtまたはTiからなるバリア金属、および、AuまたはAu-Snからなるパッド金属からなる光を透過させることができないn側電極を用いたが、本発明はこれに限らず、光を透過させることができる透明材料などからなるn側電極を用いてもよい。この場合、

金線を接続するために、 n 側電極上の一部にパッド電極を形成するのが好ましい。

【0112】

また、上記第4参考形態では、 SiO_2 微粒子からなる SiO_2 膜を用いたが、本発明はこれに限らず、発光波長に応じて、光吸収が少なくなるような材料を用いればよい。また、屈折率を徐々に変化させることができるので、窒化物系半導体との間の屈折率差が大きくてもよい。たとえば、 Al_2O_3 微粒子や SiN_x 微粒子からなる膜を用いてもよい。さらに、結晶成長中に反応および融解しない材料であればよい。たとえば、 W 、 Ta および Mo などの高融点金属の微粒子や TiO_2 微粒子からなる膜を用いてもよい。

【0113】

また、上記第2および第4参考形態では、反射膜として機能する n 側電極22および p 側電極72を、支持基板と半導体素子層との接合界面のみならず、半導体素子層の傾斜した側面上にも延びるように形成したが、本発明はこれに限らず、反射膜として機能する n 側電極および p 側電極を支持基板と半導体素子層との接合界面のみに形成するとともに、その n 側電極および p 側電極とは別個に、半導体素子層の傾斜した側面上に側面反射膜を形成するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0114】

【図1】本発明の第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。

【図2】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図3】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図4】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図5】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図6】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図7】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図8】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図9】本発明の第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。

【図10】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図11】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図12】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図13】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図14】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図15】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図16】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図17】図9に示した第2参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

ロセスを説明するための断面図である。

【図 18】図 9 に示した第 2 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 19】本発明の第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。

【図 20】図 19 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための平面図である。

【図 21】図 20 の 100 - 100 線に沿った断面図である。

【図 22】図 19 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 23】図 19 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 24】図 19 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 25】図 19 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 26】図 19 に示した第 3 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 27】本発明の第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造を示した断面図である。

【図 28】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための平面図である。

【図 29】図 28 の 200 - 200 線に沿った断面図である。

【図 30】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 31】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 32】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 33】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 34】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 35】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 36】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 37】図 27 に示した第 4 参考形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【符号の説明】

【0115】

- 1、21、51、71 支持基板（導電性基板）
- 2、52 p側電極（反射膜）
- 9、29、59、80 窒化物系半導体素子層（半導体素子層）
- 9a、29a、59a、80a 側面
- 11、31、61、83 光出射面
- 12 サファイア基板（成長用基板）
- 22 n側電極（反射膜、側面反射膜）
- 32 6H-SiC基板（成長用基板）
- 62 Si基板（成長用基板）

- 7 2 p 側電極 (反射膜、側面反射膜)
- 8 4 G a N 基板 (成長用基板)