(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5361925号
(P5361925)
(45)発行日　平成25年12月4日(2013.12.4)　(24)登録日　平成25年9月13日(2013.9.13)

(51)Int.Cl.　F I
H01S 5/343 (2006.01)　H01S 5/343 610

請求項の数 7 (全 11 頁)

(21)出願番号　特願2011-50011(P2011-50011)
(22)出願日　平成23年3月8日(2011.3.8)
(65)公開番号　特開2012-186413(P2012-186413A)
(43)公開日　平成24年9月27日(2012.9.27)
審査請求日　平成23年9月16日(2011.9.16)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100119035
弁理士　池上　徹真
(74)代理人　100141036
弁理士　須藤　章
(74)代理人　100088487
弁理士　松山　允之
(72)発明者　黄　鐘日
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　洪　洪
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体発光素子およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ｎ型窒化物半導体層と、
前記ｎ型窒化物半導体層上の窒化物半導体の活性層と、
前記活性層上のｐ型窒化物半導体層と、を備え、
前記ｐ型窒素化物半導体層が第１の窒化アルミニウムガリウム層を含み、前記第１の窒化アルミニウムガリウム層中のインジウム濃度が１Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上１Ｅ２０ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、炭素濃度が６Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、マグネシウム濃度が５Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上３Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、マグネシウム濃度をＸ、アクセプタ濃度をＹとした場合に、
$Y > \{(-5.35e19)^2 - (X - 2.70e19)^2\}^{1/2} - 4.63e19$
であることを特徴とする半導体発光素子。
【請求項２】
前記インジウム濃度が３Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上３Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、前記炭素濃度が１Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下である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ｐ型窒化物半導体層が、前記活性層上の窒化ガリウム層と、前記窒化ガリウム層上のｐ型の第２の窒化アルミニウムガリウム層と、前記第２の窒化アルミニウムガリウム層上の前記第１の窒化アルミニウムガリウム層を含み、

前記窒化ガリウム層の膜厚が前記第２の窒化アルミニウムガリウム層の膜厚よりも厚く、前記第１の窒化アルミニウムガリウム層の膜厚が前記窒化ガリウム層の膜厚よりも厚く、
前記第１の窒化アルミニウムガリウム層のバンドギャップが前記窒化ガリウム層のバンドギャップよりも大きく、前記２の窒化アルミニウムガリウム層のバンドギャップが前記第１の窒化アルミニウムガリウム層のバンドギャップよりも大きいことを特徴とする請求項１または請求項２記載の半導体発光素子。
【請求項４】
基板上に、有機金属化学気相成長法（ＭＯＣＶＤ）により、ｎ型窒化物半導体層、窒化物半導体の活性層、マグネシウムを含有する第１の窒化アルミニウムガリウム層を含むｐ型窒化物半導体層を順次形成する半導体発光素子の製造方法であって、
前記第１の窒化アルミニウムガリウム層の成長中に、成長雰囲気中にマグネシウム原料、インジウム原料、および、キャリアガスとして窒素ガス、水素ガスを供給し、
前記窒素ガスの流量が前記キャリアガス総流量の９８．６％以下であり、
前記第１の窒化アルミニウムガリウム層の成長温度が８００℃以上１０００℃以下であることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。
【請求項５】
前記窒素ガスの流量が前記キャリアガスの総流量の１０％以上であることを特徴とする請求項４記載の半導体発光素子の製造方法。
【請求項６】
前記第１の窒化アルミニウムガリウム層の成長中に供給される前記インジウム原料の供給量は、アルミニウム原料とガリウム原料の供給量の和に対し、５０％以上であることを特徴とする請求項４または請求項５記載の半導体発光素子の製造方法。
【請求項７】
前記ｐ型窒化物半導体層が、前記活性層上の窒化ガリウム層と、前記窒化ガリウム層上のｐ型の第２の窒化アルミニウムガリウム層と、前記第２の窒化アルミニウムガリウム層上の前記第１の窒化アルミニウムガリウム層を含み、
前記窒化ガリウム層の膜厚が前記第２の窒化アルミニウムガリウム層の膜厚よりも厚く、前記第１の窒化アルミニウムガリウム層の膜厚が前記窒化ガリウム層の膜厚よりも厚く、
前記第１の窒化アルミニウムガリウム層のバンドギャップが前記窒化ガリウム層のバンドギャップよりも大きく、前記２の窒化アルミニウムガリウム層のバンドギャップが前記第１の窒化アルミニウムガリウム層のバンドギャップよりも大きいことを特徴とする請求項４ないし請求項６いずれか一項記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明の実施の形態は、半導体発光素子およびその製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
レーザダイオード（ＬＤ）や、発光ダイオード（ＬＥＤ）等の半導体発光素子の材料として、ＩＩＩ族窒化物半導体が用いられる。ＩＩＩ族窒化物半導体は、一般式$Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$（ただし、０≦ｘ≦１、０≦ｙ≦１、０≦ｘ＋ｙ≦１）で表わされる。
【０００３】
ＩＩＩ族窒化物半導体を用いる半導体発光素子では、素子の発光効率の向上が要求されている。このため、発光効率を向上させる素子構造および製造方法が模索されている。
【先行技術文献】
【特許文献】

【０００４】
【特許文献１】特開２００３－３０９０７４号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
本発明は、上記事情を考慮してなされたものであり、その目的とするところは、発光効率の高い半導体発光素子およびその製造方法を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
実施の形態の半導体発光素子は、ｎ型窒化物半導体層と、ｎ型窒化物半導体層上の窒化物半導体の活性層と、活性層上のｐ型窒化物半導体層と、を備える。そして、ｐ型窒素化物半導体層が窒化アルミニウムガリウム層を含み、窒化アルミニウムガリウム層中のインジウム濃度が１Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上１Ｅ２０ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、炭素濃度が６Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、マグネシウム濃度をＸ、アクセプタ濃度をＹとした場合に、
$Y > \{(-5.35e19)^{2} - (X-2.70e19)^{2}\}^{1/2} - 4.63e19$
である。
【図面の簡単な説明】
【０００７】
【図１】実施の形態の半導体発光素子の断面図である。
【図２】実施の形態の半導体発光素子の作用を説明する図である。
【図３】実施の形態の半導体発光素子の作用を説明する図である。
【図４】実施の形態の半導体発光素子のデバイス特性を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【０００８】
以下、図面を用いて実施の形態を説明する。
【０００９】
実施の形態の半導体発光素子は、ｎ型窒化物半導体層と、前記ｎ型窒化物半導体層上の窒化物半導体の活性層と、前記活性層上のｐ型窒化物半導体層と、を備え、前記ｐ型窒素化物半導体層が第１の窒化アルミニウムガリウム層を含み、前記第１の窒化アルミニウムガリウム層中のインジウム濃度が１Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上１Ｅ２０ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、炭素濃度が６Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、マグネシウム濃度が５Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上３Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、マグネシウム濃度をＸ、アクセプタ濃度をＹとした場合に、$Y > \{(-5.35e19)^{2} - (X-2.70e19)^{2}\}^{1/2} - 4.63e19$であることを特徴とする半導体発光素子である。

【００１０】
そして、上記組成の窒化アルミニウムガリウム層は、有機金属化学気相成長法（ＭＯＣＶＤ）による成長雰囲気中に、インジウム原料、キャリアガスとして、窒素（N_{2}）ガスを供給することで形成可能であることを見出した。
【００１１】
マグネシウムをｐ型不純物として含有する窒化アルミニウムガリウム層の形成において、発明者らは、まず成長雰囲気中に、キャリアガスとして、窒素（N_{2}）ガスを導入することにより、アクセプタ濃度が高くなることを見出した。
【００１２】
もっとも、窒素ガスを導入することで、特に１０００℃以下の低温での膜成長では、炭素（Ｃ）濃度が上がり、窒化アルミニウムガリウムの結晶性の劣化や、ホールの移動度の劣化に起因する発光効率の低下が生ずることが明らかになった。また、炭素濃度が上がることにより、マグネシウムによるアクセプタ濃度の制御性が低下する。

【００１３】
これに対し、発明者らは、キャリアガスの窒素ガスに加えて、更に、インジウム原料を雰囲気中に加えることで、窒化アルミニウムガリウム層の炭素濃度が低下するとともに、マグネシウム濃度に対するアクセプタ濃度の割合が一層高くなり、その結果、発光効率が向上することを明らかにした。
【００１４】
以下の実施の形態は、発明者らによって見出された上記知見に基づくものである。
【００１５】
実施の形態の半導体発光素子は、ｎ型窒化物半導体層と、ｎ型窒化物半導体層上の窒化物半導体の活性層と、活性層上のｐ型窒化物半導体層と、を備える。そして、ｐ型窒素化物半導体層が窒化アルミニウムガリウム層を含み、窒化アルミニウムガリウム層中のインジウム（原子）濃度が１Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上１Ｅ２０ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、炭素（原子）濃度が６Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であり、マグネシウム（原子）濃度をＸ（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}）、アクセプタ濃度をＹ（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}）とした場合に、
$Y > \{(-5.35e19)^{2} - (X-2.70e19)^{2}\}^{1/2} - 4.63e19$
である。
【００１６】
本実施の形態の半導体発光素子によれば、窒化アルミニウムガリウム層中のｐ型不純物であるマグネシウム濃度に対するアクセプタ濃度の割合が高く、かつ、炭素濃度が低いことで、高い発光効率が実現される。
【００１７】
以下、半導体発光素子として、リッジストライプ型のレーザダイオード（ＬＤ）を例に説明する。
【００１８】
図１は、本実施の形態の半導体発光素子の断面図である。図１（ａ）がリッジストライプの伸長方向に平行な断面図、図１（ｂ）が図１（ａ）のＡ－Ａ断面図、である。
【００１９】
本実施の形態の半導体発光素子である半導体レーザダイオードは、ＩＩＩ族窒化物半導体を用いて形成される。ｎ型のＧａＮ（窒化ガリウム）半導体の基板１０上に、ＧａＮ系のｎ型窒化物半導体層１２として、例えば、厚さ１２００ｎｍのＳｉドープされたｎ型の$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$のｎ型クラッド層１２ａ、厚さ１００ｎｍのＳｉドープされたｎ型のＧａＮのｎ型ガイド層１２ｂが形成されている。
【００２０】
ｎ型窒化物半導体層１２上には、多重量子井戸構造（ＭＱＷ）のＧａＮ系半導体の、例えば、厚さ３ｎｍの$In_{0.12}Ga_{0.88}N$／厚さ１０ｎｍの$In_{0.03}Ga_{0.97}N$の多重構造の活性層１４が形成されている。
【００２１】
活性層１４上には、ＧａＮ系のｐ型窒化物半導体層１６として、例えば、厚さ１００ｎｍのＭｇドープされたｐ型のＧａＮのｐ型ガイド層１６ａ、厚さ６００ｎｍのＭｇドープされたｐ型の$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$のｐ型クラッド層１６ｂ、厚さ１０ｎｍのＭｇドープされたｐ型のＧａＮのｐ型コンタクト層１６ｃが形成されている。
【００２２】
図示しない、例えば厚さ１０ｎｍのＭｇドープされたｐ型の$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$のオーバーフロー防止層が、ｐ型ガイド層１６ａとｐ型クラッド層１６ｂとの間に形成されていてもかまわない。また、ｐ型ガイド層１６ａはアンドープであってもかまわない。
【００２３】
ｐ型窒化物半導体層１６には、レーザ光の導波路領域を形成するためのリッジストライプ１８が設けられている。リッジストライプ１８の側面、および、ｐ型クラッド層１６ｂの表面は、例えば、シリコン酸化膜の絶縁膜２０で覆われている。

【００２４】
基板１０の下面にはｎ側電極２４、ｐ型コンタクト層１６ｃ上にはｐ側電極２６が設けられている。
【００２５】
Ｍｇドープされたｐ型の$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$のｐ型クラッド層１６ｂは、１Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上１Ｅ２０ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下のインジウムを含有している。このように、インジウムを含有することにより、インジウムがサーファクタントとして機能し、結晶性を向上させる。上記範囲を下回ると、十分なサーファクタントが得られない。また、上記範囲を上回ると、４元混晶が形成され、素子特性が大きく変化するおそれがある。この観点から、インジウムの濃度は、３Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上３Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることがより望ましく、８Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上３Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることがさらにより望ましい。
【００２６】
また、ｐ型クラッド層１６ｂにおいて、マグネシウム（原子）濃度をＸ（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3）、アクセプタ濃度をＹ（ａｔｏｍｓ／ｃｍ^3）とした場合に、
$Y > \{(-5.35e19)^2 - (X-2.70e19)^2\}^{1/2} - 4.63e19$
である。マグネシウム濃度は、１Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上１Ｅ２０ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、より好ましくは５Ｅ１８ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上５Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、さらに好ましくは１Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上３Ｅ１９ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下である。
【００２７】
マグネシウム濃度が上記範囲を下回ると、マグネシウム濃度に対するアクセプタ濃度の割合が低くなり、ｐ型窒化物半導体層に十分な導電性が確保されなくなるおそれがある。また、上記範囲を上回る場合も、マグネシウムのアクセプタ濃度が低くなり、ｐ型窒化物半導体層に十分な導電性が確保されなくなるおそれがある。
【００２８】
そして、ｐ型クラッド層１６ｂは、炭素濃度が６Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下である。このように、炭素濃度が抑制されることにより、正孔（ホール）の移動度が向上し、ｐ型窒化物半導体層の導電性が向上する。したがって、発光効率の向上が期待できる。また、炭素濃度が抑制されることにより、マグネシウム添加によるアクセプタ濃度の制御性が向上し、半導体発光素子の特性が安定し、製造歩留まりの向上が期待できる。炭素濃度は、１Ｅ１７ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下であることがより望ましい。
【００２９】
なお、インジウム、マグネシウム、炭素の濃度はＳＩＭＳ（Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）法で評価することが可能である。また、アクセプタ濃度は、ＥＣＶ（Ｅｌｅｃｔｒｏ Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖｏｌｔａｍｅｔｒｙ）法で評価することが可能である。
【００３０】
次に、本実施の形態の半導体発光素子の製造方法について、図１を参照しつつ説明する。
【００３１】
ｎ型のＧａＮ基板１０上に有機金属化学気相法（ＭＯＣＶＤ）法により、$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$のｎ型クラッド層１２ａ、ＧａＮのｎ型ガイド層１２ｂ、$In_{0.12}Ga_{0.88}N$／$In_{0.03}Ga_{0.97}N$の多重構造の活性層１４、ＧａＮのｐ型ガイド層１６ａ、$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$のｐ型クラッド層１６ｂ、ＧａＮのｐ型コンタクト層１６ｃを順次形成する。
【００３２】
次に、ｐ型コンタクト層１６ｃの上面にSiO_2膜を堆積する。レジストを用いたパターニングとフッ化アンモニウムによるエッチングによりリッジストライプ形成のために幅１０μｍ程度のマスクを形成する。ドライエッチング装置により、上記マスクを用いて、

$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$のｐ型クラッド層１６ｂの途中までエッチングを行い、リッジストライプ１８を形成する。

【００３３】

マスクを除去した後、例えばSiO_2膜の堆積と、レジストを用いたパターニングによりリッジストライプ１８側面、および、ｐ型クラッド層１６ｂの表面に絶縁膜２０を形成する。

【００３４】

その後、ｐ側電極用の電極金属を堆積してパターニングし、ｐ側電極２６を形成する。さらに、リッジストライプ１８と反対側のＧａＮ基板１０を研磨して薄膜化した後、ｎ側電極用の電極金属を堆積してパターニングし、ｎ側電極２４を形成する。

【００３５】

そして、ｎ型ＧａＮ基板１０の表面にリッジストライプと直交する方向の劈開方向に沿ってスクライブラインを入れる。このスクライブラインを起点として、劈開面に沿って、バー状にｎ型ＧａＮ基板１０を分離する。

【００３６】

さらにバー状にしたｎ型ＧａＮ基板を短手方向でスクライブとブレーキングを行い、図１に示すような１つの半導体発光素子を製造する。

【００３７】

本実施の形態においては、ＭＯＣＶＤ法による窒化アルミニウムガリウムのｐ型クラッド層１６ｂの成長中に、成長雰囲気中に、マグネシウム原料、インジウム原料、および、キャリアガスとして、窒素ガスを供給する。すなわち、ｐ型クラッド層１６ｂの成長中に、成長雰囲気中にアルミニウム原料、ガリウム原料、マグネシウム原料、インジウム原料、および窒素原料を供給する。これらの原料のキャリアガスとして、窒素ガスを供給する。

【００３８】

アルミニウム原料は、例えば、トリメチルアルミニウム（ＴＭＡ）、トリエチルアルミニウム（ＴＥＡ）である。また、ガリウム原料は、例えば、トリメチルガリウム（ＴＭＧ）、トリエチルガリウム（ＴＥＧ）である。また、マグネシウム原料は、例えば、シクロペンタジエニルマグネシウム（Cp_2Mg）である。窒素原料は、例えば、アンモニア（NH_3）である。

【００３９】

また、インジウム原料は、例えば、トリメチルインジウム（ＴＭＩ）、トリエチルインジウム（ＴＥＩ）である。そして、窒化アルミニウムガリウムの成長中に成長雰囲気中に供給されるインジウム原料の供給量は、アルミニウム原料とガリウム原料の供給量の和に対し、５０％以上であることが望ましく、１００％より大きいことがより望ましい。キャリアガスに水素が含まれる場合などキャリアガスの成分によっては、上記範囲を下回ると十分なＩｎ濃度が得にくくなり、従って十分な炭素低減効果を得られない。

【００４０】

なお、ここで、原料の供給量とは、単位時間当たりの原子数で表わした原子数で表わした原料の供給量である。例えば、ｍｏｌ／ｍｉｎで表わされる。

【００４１】

窒素ガスは、必ずしも１００％窒素に限らず、窒素ガスと水素（H_2）ガス、またはその他のガスとの混合ガスであってもかまわない。ただし、窒素ガスの流量が、キャリアガスの総流量の１０％以上であることが望ましく、５０％以上であることがより望ましく、９０％以上であることがさらに望ましく、９９％以上であることが一層望ましい。これは、窒素ガスの流量が大きいほど、マグネシウム濃度に対するアクセプタ濃度の割合が高くなるからである。

【００４２】

また、窒化アルミニウムガリウムの成長温度は、７００℃以上１１００℃以下、より望ましくは、８００℃以上１０００℃以下であることが望ましい。上記範囲を下回ると、窒

化アルミニウムガリウムの結晶性が劣化するおそれがある。また、上記範囲を上回ると、成長時の熱ストレスが、活性層など下層の半導体層に印加されることにより発光素子の特性が劣化するおそれがある。

【００４３】

図２は、実施の形態の半導体発光素子の作用を説明する図である。ＭＯＣＶＤ法により、窒化アルミニウムガリウムの単層膜を形成する際の、成長条件を変化させた。そして、形成された窒化アルミニウムガリウムのインジウム濃度と炭素濃度の関係を示している。各成長条件は以下の通りである。

【００４４】

（条件１）：図２中、菱形印

・成長温度：１０３０℃
・原料：ＴＭＡ、ＴＭＧ、Cp_2Mg、NH_3
・ＴＭＩ供給量／（ＴＭＡ供給量＋ＴＭＧ供給量）＝０％
・キャリアガス：窒素ガス、水素ガス
・窒素ガス流量／キャリアガス総流量＝４８．８％

【００４５】

（条件２）：図２中、白丸（○）印

・成長温度：１０００℃
・原料：ＴＭＡ、ＴＭＧ、Cp_2Mg、NH_3
・ＴＭＩ供給量／（ＴＭＡ供給量＋ＴＭＧ供給量）＝０％
・キャリアガス：窒素ガス、水素ガス
・窒素ガス流量／キャリアガス総流量＝９８．６％

【００４６】

（条件３）：図２中、白三角（△）印

・成長温度：１０００℃
・原料：ＴＭＡ、ＴＭＧ、ＴＭＩ　４．６μｍｏｌ／ｍｉｎ、Cp_2Mg、NH_3
・ＴＭＩ供給量／（ＴＭＡ供給量＋ＴＭＧ供給量）＝５．９％
・キャリアガス：窒素ガス、水素ガス
・窒素ガス流量／キャリアガス総流量＝９８．６％

【００４７】

（条件４）：図２中、白四角（□）印

・成長温度：１０００℃
・原料：ＴＭＡ、ＴＭＧ、ＴＭＩ　１５．８μｍｏｌ／ｍｉｎ、Cp_2Mg、NH_3
・ＴＭＩ供給量／（ＴＭＡ供給量＋ＴＭＧ供給量）＝１９．８％
・キャリアガス：窒素ガス、水素ガス
・窒素ガス流量／キャリアガス総流量＝９８．６％

【００４８】

（条件５）：図２中、黒丸（●）印

・成長温度：９４０℃
・原料：ＴＭＡ、ＴＭＧ、Cp_2Mg、NH_3
・ＴＭＩ供給量／（ＴＭＡ供給量＋ＴＭＧ供給量）＝０％
・キャリアガス：窒素ガス、水素ガス
・窒素ガス流量／キャリアガス総流量＝４８．８％

【００４９】

（条件６）：図２中、黒四角（■）印

・成長温度：９４０℃
・原料：ＴＭＡ、ＴＭＧ、ＴＭＩ　４７．２μｍｏｌ／ｍｉｎ、Cp_2Mg、NH_3
・ＴＭＩ供給量／（ＴＭＡ供給量＋ＴＭＧ供給量）＝５９．１％
・キャリアガス：窒素ガス、水素ガス
・窒素ガス流量／キャリアガス総流量＝４８．８％

【００５０】
上述のように、キャリアガスに窒素ガスを用いると、窒化アルミニウムガリウム中のアクセプタ濃度は上がるが、同時に炭素濃度も上がる。この傾向は、窒素ガス流量／キャリアガス総流量が上がると顕著になる。また、成長温度が下がると顕著になる。この傾向は、図２中、ＴＭＩを供給しない条件１（菱形印）、条件２（○印）、条件５（●印）を比較することでも読み取れる。
【００５１】
しかし、図２に示すようにインジウム原料を供給することで、キャリアガスに窒素ガスを用いても、窒化アルミニウムガリウム中の炭素濃度を低減することが可能となる。
【００５２】
図３は、実施の形態の半導体発光素子の作用を説明する図である。上記、条件２（○印）、条件３（△印）、条件４（□印）で成膜された窒化アルミニウムガリウム中のマグネシウムの原子濃度とアクセプタ濃度との関係を示す。濃度はＳＩＭＳで、アクセプタ濃度はＥＣＶで測定している。
【００５３】
図３に示すように、ＴＭＩの流量が増大するほど、おなじマグネシウムの原子濃度であっても、アクセプタ濃度が大きくなる。すなわち、マグネシウムの活性化率が向上する。そして、インジウム原料の導入により、マグネシウム濃度をＸ、アクセプタ濃度をＹとした場合に、
$Y > \{(-5.35e19)^2 - (X - 2.70e19)^2\}^{1/2} - 4.63e19$
が成立する。
【００５４】
図４は、実施の形態の半導体発光素子のデバイス特性を示す図である。図１の構造のレーザダイオードの、窒化アルミニウムガリウムのｐ型クラッド層１６ｂの成長条件に、ＴＭＩを供給しない上記条件２（図２、図３中○印、図４中点線）と、ＴＭＩを供給する条件４（図２、図３中□印、図４中実線）とを適用し、デバイス特性を評価した。
【００５５】
図４から明らかなように、インジウム原料を供給することで、動作電圧が低減し、発光効率も向上することがわかる。これは、窒素ガスをキャリアガスとして用い、インジウム原料を供給することにより、マグネシウムの活性化率が向上するとともに、炭素濃度の低減によりホールの移動度も向上し、ｐ型クラッド層１６ｂの導電性が向上したことによると考えられる。
【００５６】
実施の形態の製造方法によれば、ｐ型の窒化アルミニウムガリウム中のマグネシウムのアクセプタ濃度が向上するとともに炭素濃度が低減する。したがって、ｐ型窒化物半導体層の導電性が上がり、発光効率の高い半導体発光素子を提供することが可能となる。
【００５７】
そして、実施の形態の製造方法によれば、１０００℃以下、あるいは、９５０℃以下の低温でも効果が生ずる。したがって、窒化アルミニウムガリウム成長時の下地層への熱ストレスも抑制される。この観点からも、発光効率の高く特性の優れた半導体発光素子を提供することが可能となる。
【００５８】
以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。上記、実施の形態はあくまで、例として挙げられているだけであり、本発明を限定するものではない。また、各実施の形態の構成要素を適宜組み合わせてもかまわない。
【００５９】
そして、実施の形態の説明においては、半導体発光素子およびその製造方法等で、本発明の説明に直接必要としない部分等については記載を省略したが、必要とされる半導体発光素子およびその製造方法に関わる要素を適宜選択して用いることができる。
【００６０】

例えば、実施の形態では、半導体発光素子としてレーザダイオード（ＬＤ）を例に説明したが、本発明は、発光ダイオード（ＬＥＤ）にも適用することが可能である。

【００６１】

また、本発明は半導体発光素子に用いられるｐ型の窒化アルミニウムガリウム層であれば、ＬＤのｐ型クラッド層に限らず、あらゆる層に適用することが可能である。

【００６２】

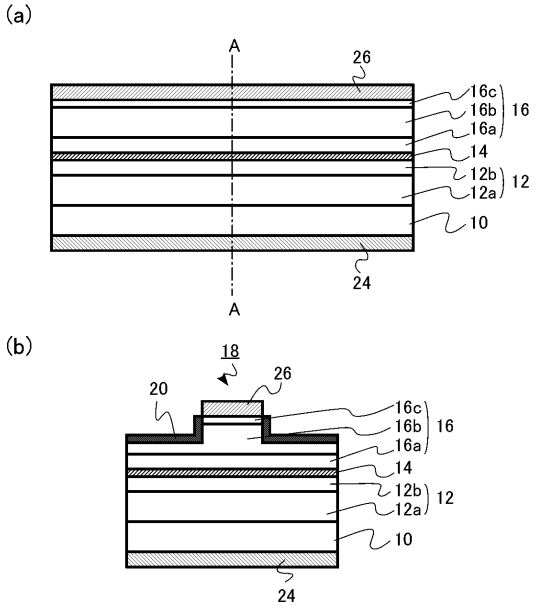
その他、本発明の要素を具備し、当業者が適宜設計変更しうる全ての半導体発光素子およびその製造方法は、本発明の範囲に包含される。本発明の範囲は、特許請求の範囲およびその均等物の範囲によって定義されるものである。

【符号の説明】

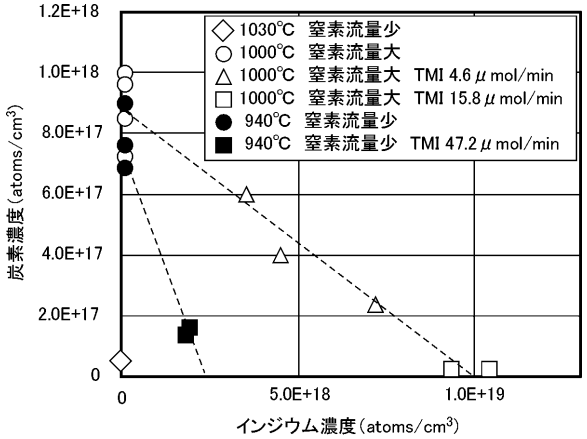
【００６３】

１０　　基板
１２　　ｎ型窒化物半導体層
１４　　活性層
１６　　ｐ型窒化物半導体層
１６ｂ　　ｐ型クラッド層（窒化アルミニウムガリウム層）

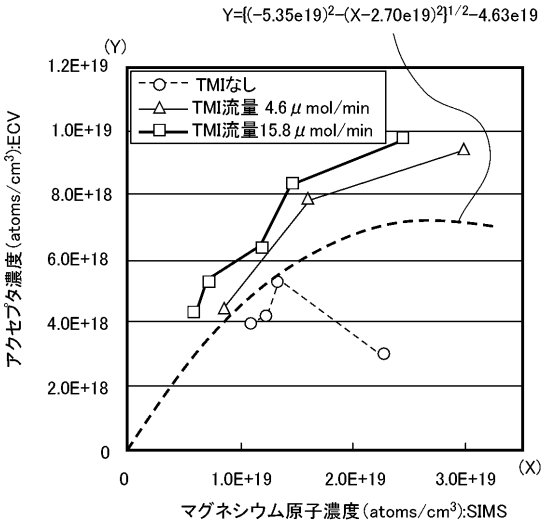
【図１】



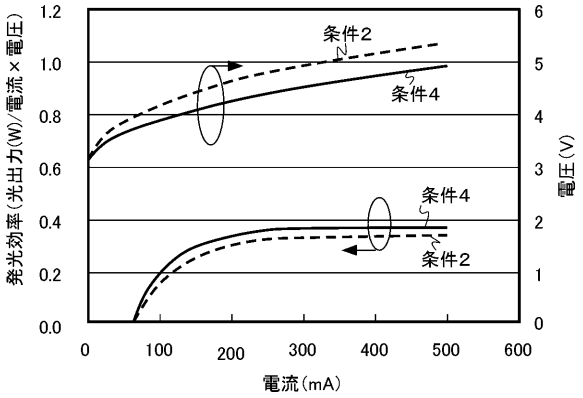
【図２】



【図３】


Y={(-5.35e19)²-(X-2.70e19)²}^1/2-4.63e19
(Y)
1.2E+19
1.0E+19
8.0E+18
6.0E+18
4.0E+18
2.0E+18
0
TMIなし
TMI流量 4.6μmol/min
TMI流量15.8μmol/min
0
1.0E+19
2.0E+19
3.0E+19
(X)
アクセプタ濃度(atoms/cm³):ECV
マグネシウム原子濃度(atoms/cm³):SIMS

【図４】


発光効率(光出力(W)/電流×電圧)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
6
5
4
3
2
1
0
電圧(V)
条件2
条件4
条件4
条件2
0
100
200
300
400
500
600
電流(mA)

フロントページの続き

(72)発明者　服部　靖
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　橋本　玲
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　斎藤　真司
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　遠山　政樹
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内
(72)発明者　布上　真也
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内

審査官　金高　敏康

(56)参考文献　特開２００４－０６３５３７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－１３５８４８（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１８３９６４（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１５０２９６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｓ　　５／００　－　５／５０
Ｈ０１Ｌ　３３／００　－　３３／６４