

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4604488号
(P4604488)

(45) 発行日 平成23年1月5日(2011.1.5)

(24) 登録日 平成22年10月15日(2010.10.15)

(51) Int.Cl.

HO 1 L 33/36 (2010.01)

F I

HO 1 L 33/00 2 0 0

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2003-435311 (P2003-435311)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成15年12月26日 (2003.12.26)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-197289 (P2005-197289A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成17年7月21日 (2005.7.21)	(74) 代理人	100104949
審査請求日	平成18年12月26日 (2006.12.26)		弁理士 豊栖 康司
		(74) 代理人	100074354
			弁理士 豊栖 康弘
		(72) 発明者	佐野 雅彦
			徳島県阿南市上中町岡491番地100
			日亜化学工業株式会社内
		審査官	山村 浩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物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】

第1の伝導型窒化物半導体層と、
前記第1の伝導型窒化物半導体層上に設けられた第2の伝導型窒化物半導体層と、
を備える窒化物半導体発光素子であって、
前記第2の伝導型窒化物半導体層上には、透光性導電層(17)が設けられ、
前記透光性導電層(17)上の一部には、
反射膜(312)と、
前記反射膜(312)と前記透光性導電層(17)とを絶縁する透光性膜(311)と、
を有する反射層(31)が設けられ、
前記反射層(31)上には、金属電極層(40)が設けられると共に、
前記金属電極層(40)が、前記反射層(31)の設けられていない領域で前記透光性導電層(17)と直接接し、
前記反射膜(312)は、Al又はAgを含み、
前記金属電極層(40)は、Au、Pt、Pd、Rh、Ni、W、Mo、Crのいずれかの金属を含むことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】

前記透光性導電層(17)は、亜鉛、インジウム、スズよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物を含むことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】

前記透光性導電層(17)がITOを含むことを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】

前記金属電極層(40)は、前記第2の伝導型窒化物半導体層上のほぼ全面に設けられていることを特徴とする請求項1から3のいずれか一に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】

前記反射層(31)が設けられていない領域を電流の導通経路(32)として、該導通経路(32)を複数設けてなることを特徴とする請求項1から4のいずれか一に記載の窒化物半導体発光素子。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x$ 、 $0 < y$ 、 $0 < x + y < 1$) からなる窒化物半導体を積層した半導体層を用いて形成した窒化物半導体素子およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

窒化ガリウム等の窒化物系半導体を用いた発光素子は、紫外光、青色光、緑色光等の発光が可能であり、高効率で低消費電力である上、小型化可能で機械的な振動等にも強く、長寿命で信頼性が高い等の利点を有することから、各方面での利用が進んでいる。特に発光素子は大型ディスプレイや信号機、携帯電話のバックライト光源などへの普及が顕著である。

20

【0003】

窒化物系半導体を用いた発光素子においては、活性層で発生される光を外部に取り出して有効利用できるように、光の取り出し効率を高めることが重要となる。このような観点から透光性を有する導電膜が電極として要求されており、例えばITO(InとSnの複合酸化物)や SnO_2 、ZnO等が利用されている(特許文献1)。中でもITOは酸化物インジウムにスズを含有する酸化物導電性材料であり、低抵抗、高透明度を備えているので、透明電極などに好適である。

30

【0004】

このような透明電極を利用したLEDの一例を図1に示す。LEDはサファイア基板1の上にバッファ層を介してn型GaN層2、InGaN発光層3、p型GaN層4が順次エピタキシャル成長された構成を有する。また、InGaN発光層3およびp型GaN層4の一部が選択的にエッチング除去されて、n型GaN層2が露出されている。p型GaN層3上にはp側透明電極5としてITO層が形成され、さらにp側電極7のボンディングパッドが積層されている。また、n型GaN層2の上にはn側電極8が形成されている。これらの電極は、Al等の金属を蒸着によって膜状に形成している。このような構造においては、p側電極7を介して注入された電流は、導電性の良いp側透明電極5であるITO層によって電極の下部に集中することなく均一に拡散され、p型GaN層3からn型GaN層2に電流が注入されて発光する。またその発光はp側電極7に遮られず、ITO層を透過してチップ外に取り出される。

40

【0005】

しかしながら、このようなITO層上にAl膜などの金属電極を形成することによって、以下のような問題を生じていた。すなわち、ITO層とAl膜の界面が加熱されると拡散が生じ、剥離する恐れがあって安定性が得られ難い。また、ITO層とAl膜との界面でオーミック接合を形成し難く、電氣的な障壁が生じるため接触抵抗が高くなり、素子の動作電圧が高くなって消費電力、発熱量も大きくなるという問題が生ずる。この原因は明らかでないが、Alの一部が界面の熱で酸化して酸化アルミニウムが形成されるためと考えられる。

50

【 0 0 0 6 】

さらに、光の取り出し効率も低下してしまう。それは、GaNの屈折率は約2.67と大きいために、臨界角が21.9度と極めて小さいからである。つまり、主光取出し面の法線からみて、この臨界角よりも大きい角度で入射した光は、LEDチップの外に取り出せず閉じ込められてしまう。このために、外部量子効率を改善してより大きな発光パワーを得ることが困難であった。

【特許文献1】実開平6-38265号公報

【特許文献2】特開2003-224297号公報

【特許文献3】特開2003-124517号公報

【特許文献4】特開平8-250769号公報

【特許文献5】国際公開第98/42030号

【特許文献6】特開平10-256602号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

本発明は、このような問題点を解決するためになされたものである。本発明の主な目的は、金属電極層と透光性導電層との界面の劣化を低減して品質を高めた窒化物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】

【 0 0 0 8 】

以上の目的を達成するために本発明に係る窒化物半導体発光素子は、第1の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層上に設けられた第2の伝導型窒化物半導体層と、を備える窒化物半導体発光素子であって、前記第2の伝導型窒化物半導体層上には、透光性導電層が設けられ、前記透光性導電層上の一部には、反射膜と、前記反射膜と前記透光性導電層とを絶縁する透光性膜と、を有する反射層が設けられ、前記反射層上には、金属電極層が設けられると共に、前記金属電極層が、前記反射層の設けられていない領域で前記透光性導電層と直接接し、前記反射膜は、Al又はAgを含み、前記金属電極層は、Au、Pt、Pd、Rh、Ni、W、Mo、Crのいずれかの金属を含む。

前記透光性導電層は、亜鉛、インジウム、スズよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物を含むことができる。

また前記透光性導電層はITOを含むことが好ましい。

さらに前記金属電極層は、前記第2の伝導型窒化物半導体層上のほぼ全面に設けられていることが好ましい。

さらにまた前記反射層が設けられていない領域を電流の導通経路として、該導通経路を複数設けることも好ましい。

一方で窒化物半導体発光素子は、対向する一对の主面を有する基板と、前記基板の一方の主面上に積層される第1の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層上に積層される第2の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層と第2の伝導型窒化物半導体層との間に形成される活性層と、前記第2の伝導型窒化物半導体層と電氣的に接続される金属電極層と、前記第2の伝導型窒化物半導体層と金属電極層との間に形成される透光性導電層とを備える。この窒化物半導体発光素子は、前記透光性導電層と金属電極層との間で、少なくとも一部に反射層が形成されている。

【 0 0 0 9 】

また窒化物半導体発光素子は、前記反射層が、少なくとも絶縁膜を有する多層構造である。

【 0 0 1 0 】

さらに窒化物半導体発光素子は、前記反射層が、少なくともAl、Zn、Ni、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Si、In、Snよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む金属または合金またはそれらの酸化物またはそれらの窒化物を含む層を有する多層構造である。

【0011】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射層が、多層構造中に反射膜と該反射膜に接する透光性膜を有しており、かつ前記透光性膜は前記透光性導電層と接している。

【0012】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射膜が、AlまたはAgを含む金属膜よりなること、もしくはSi、Ti、Zr、Nb、Ta、Alよりなる群から選択された少なくとも一種の酸化物または窒化物から選択された少なくとも2つを繰り返し積層した誘電体多層膜よりなる。

【0013】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記透光性膜は絶縁性を備えた透光性絶縁膜である。

10

【0014】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射層の透光性膜が、Si、Al、Zr、Hf、Ti、Ta、Nb、Znよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物よりなる。

【0015】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射膜は前記金属電極層と接している。

【0016】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射層および透光性導電層と接して、パッド電極が形成されてなる。

20

【0017】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記透光性導電層はp型コンタクト層に接して形成されている。

【0018】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射層のパターンが所定のパターンでかつブロック状である。

【0019】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記透光性導電層がITOからなる。

【0020】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記透光性導電層の膜厚が1 μm以下である。

30

【0021】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記金属電極層が、Au、Pt、Pd、Rh、Ni、W、Mo、Crのいずれかの金属またはこれらの合金を含む。

【0022】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記反射層の膜厚が10オングストローム以上である。

【0023】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、前記第2の伝導型窒化物半導体層の屈折率は前記透光性導電層の屈折率よりも大きく、かつ前記透光性導電層の屈折率は、前記反射層の屈折率よりも大きい。

40

【0024】

さらにまた窒化物半導体発光素子は、対向する一対の主面を有する基板と、前記基板の一方の主面上に積層される第1の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層上に積層される第2の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層と第2の伝導型窒化物半導体層との間に形成される活性層と、前記第2の伝導型窒化物半導体層と電氣的に接続される金属電極層とを備える。この窒化物半導体発光素子は、上記基板の他方の主面を主光取出し面として配線基板に実装可能な窒化物半導体発光素子であって、前記金属電極層と第2の伝導型窒化物半導体層との間に透光性導電層が形成されており、前記透光性導電層と金属電極層との間で、少なくとも一部に光を反射させるための反射膜を少なくとも有する反射層が形成されている。

50

【 0 0 2 5 】

また、窒化物半導体発光素子の製造方法は、対向する一対の主面を有する基板と、前記基板の一方の主面上に積層される第1の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層上に積層される第2の伝導型窒化物半導体層と、前記第1の伝導型窒化物半導体層と第2の伝導型窒化物半導体層との間に形成される活性層と、前記第2の伝導型窒化物半導体層と電氣的に接続される金属電極層とを備え、上記基板の他方の主面を主光取出し面として配線基板に実装可能な窒化物半導体発光素子の製造方法である。この方法は、基板上に、第1の伝導型窒化物半導体層と、活性層と、第2の伝導型窒化物半導体層を積層するステップと、前記第2の伝導型窒化物半導体層上に透光性導電層を形成するステップと、前記透光性導電層上に少なくとも一部を被覆する光を反射させるための反射膜を少なくとも有する反射層を形成するステップと、前記反射層上および反射層を設けていない透光性導電層が露出する領域上に金属電極層を形成するステップとを備える。

10

【発明の効果】

【 0 0 2 6 】

本発明の窒化物半導体発光素子およびその製造方法によれば、金属電極層と透光性導電層との界面の劣化を低減して高品質な窒化物半導体発光素子を得ることができる。それは、本発明が、透光性導電層との電極層との間に部分的に反射層を所定のパターンで形成しているからである。反射層を介在させることによって金属電極層の変質が起こり難くなり、剥離や電氣的障壁の発生を抑制して半導体発光素子の信頼性、電氣的特性を改善できる。また、反射層を設けることにより、反射層と透光性導電層との界面での臨界角を小さくし、反射する光を多くすることで、特にフリップチップ実装における光の取り出し効率を改善することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 7 】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。ただし、以下に示す実施の形態は、本発明の技術思想を具体化するための窒化物半導体発光素子およびその製造方法を例示するものであって、本発明は窒化物半導体発光素子およびその製造方法を以下のものに特定しない。

【 0 0 2 8 】

また、本明細書は特許請求の範囲に示される部材を、実施の形態の部材に特定するものでは決していない。特に実施の形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は特に特定の記載がない限りは、本発明の範囲をそのみに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。なお、各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため誇張していることがある。さらに以下の説明において、同一の名称、符号については同一もしくは同質の部材を示しており、詳細説明を適宜省略する。さらに、本発明を構成する各要素は、複数の要素を同一の部材で構成して一の部材で複数の要素を兼用する態様としてもよいし、逆に一の部材の機能を複数の部材で分担して実現することもできる。

30

【 0 0 2 9 】

図2に、窒化物半導体発光素子を実装したLEDの概略断面図を示す。この図では、窒化物半導体発光素子であるLEDチップ9を配線基板の一であるサブマウント10上にフリップチップ実装している。フリップチップは、窒化物半導体層の電極形成面を主光取出し面とするフェイスアップ実装と異なり、電極形成面と対向する基板11側を主光取出し面とする実装方式であり、フェイスダウン実装等とも呼ばれる。

40

【 0 0 3 0 】

図2のLEDチップ9は、基板11上にバッファ層12、n型窒化物半導体層13、活性層14、p型窒化物半導体層15を順にエピタキシャル成長し、さらに透光性導電層17と金属電極層40を積層している。結晶成長方法としては、例えば、有機金属気相成長法(MOCVD: metal-organic chemical vapor deposition)、ハイドライド気相成長法(HVPE)、ハイドライドCVD法、MBE(molecular beam epitaxy)などの方法

50

が利用できる。また、半導体層の積層構造としては、MIS接合、PIN接合やPN接合を有したホモ構造、ヘテロ構造あるいはダブルヘテロ構成のものが挙げられる。また、各層を超格子構造としたり、活性層14を量子効果が生ずる薄膜に形成させた単一量子井戸構造や多重量子井戸構造とすることもできる。なお、図2においては透光性導電層17上に設けられる反射層31の図示を省略している。

【0031】

また図2においては詳細に図示しないが、活性層14およびp型窒化物半導体層15の一部を選択的にエッチング除去して、n型窒化物半導体層15の一部を露出させて、n側パッド電極を形成している。またn側電極と同一面側で、p型窒化物半導体層15にはp側パッド電極が形成される。パッド電極の上には、外部電極等と接続させるためのメタライズ層(パンプ20)を形成する。メタライズ層は、Ag、Au、Sn、In、Bi、Cu、Zn等の材料から成る。これらLEDチップ9の電極形成面側をサブマウント10上に設けられた正負一对の外部電極と対向させ、パンプ20にて各々の電極を接合する。さらにサブマウント10に対してワイヤー21などが配線される。一方、フェイスダウンで実装されたLEDチップ9の基板11の主面側を、主光取出し面としている。

【0032】

なお本明細書において、層上などでいう「上」とは、必ずしも上面に接触して形成される場合に限られず、離間して上方に形成される場合も含んでおり、層と層の間に介在層が存在する場合も包含する意味で使用する。

【0033】

図3に、本発明の第1の実施の形態に係る窒化物半導体発光素子の概略断面図を示す。図に示す窒化物半導体発光素子はフリップチップ実装であることを示すため、上下逆に表示している。実際の製造工程では基板11の上面に各層を形成し、得られた窒化物半導体発光素子を上下逆にして図2のように実装する。

【0034】

[基板11]

基板11は、窒化物半導体をエピタキシャル成長させることができる透光性基板で、基板の大きさや厚さ等は特に限定されない。この基板としては、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイアやスピネル($MgAl_2O_4$)のような絶縁性基板、また炭化珪素(6H、4H、3C)、シリコン、ZnS、ZnO、Si、GaAs、ダイヤモンド、及び窒化物半導体と格子接合するニオブ酸リチウム、ガリウム酸ネオジウム等の酸化物基板が挙げられる。また、デバイス加工が出来る程度の厚膜(数十 μm 以上)であればGaNやAlN等の窒化物半導体基板を用いることもできる。異種基板はオフアングルしていてもよく、サファイアC面を用いる場合には、 $0.01^\circ \sim 3.0^\circ$ 、好ましくは $0.05^\circ \sim 0.5^\circ$ の範囲とする。

【0035】

[窒化物半導体層]

窒化物半導体としては、一般式が $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x, 0 < y, x+y < 1$)であって、BやP、Asを混晶してもよい。また、n型窒化物半導体層13、p型窒化物半導体層15は、単層、多層を特に限定しない。また、窒化物半導体層にはn型不純物、p型不純物を適宜含有させる。n型不純物としては、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等のIV族、若しくはVI族元素を用いることができ、好ましくはSi、Ge、Snを、最も好ましくはSiを用いる。また、p型不純物としては、特に限定されないが、Be、Zn、Mn、Cr、Mg、Caなどが挙げられ、好ましくはMgが用いられる。これにより、各導電型の窒化物半導体を形成することができる。前記窒化物半導体層には活性層14を有し、該活性層14は単一(SQW)又は多重量子井戸構造(MQW)とする。以下に窒化物半導体の詳細を示す。

【0036】

基板11上に成長させる窒化物半導体はバッファ層(図3に図示せず)を介して成長する。バッファ層としては、一般式 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 0.8$)で表される窒化物半

10

20

30

40

50

導体、より好ましくは、 $Al_aGa_{1-a}N$ ($0 < a < 0.5$) で示される窒化物半導体を用いる。バッファ層の膜厚は、好ましくは $0.002 \sim 0.5 \mu m$ 、より好ましくは $0.005 \sim 0.2 \mu m$ 、さらに好ましくは $0.01 \sim 0.02 \mu m$ とする。バッファ層の成長温度は、好ましくは $200 \sim 900$ 、より好ましくは $400 \sim 800$ である。これにより、窒化物半導体層上の転位やピットを低減させることができる。さらに、上述した異種基板上に ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 法により $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) 層を成長させてもよい。ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 法とは、窒化物半導体を横方向成長させることで貫通転位を曲げて収束させることにより、転位を低減させるものである。バッファ層は多層構成としてもよく、低温成長バッファ層と、その上に高温成長層を形成してもよい。高温成長層としては、アンドープの GaN 又は n 型不純物をドーピングした GaN を用いることができる。高温成長層の膜厚は、 $1 \mu m$ 以上、より好ましくは $3 \mu m$ 以上である。また、高温成長層の成長温度は $900 \sim 1100$ 、好ましくは 1050 以上とする。

【0037】

次に、n 型窒化物半導体層 13 を成長させる。まず n 型コンタクト層 (図示せず) を成長させる。n 型コンタクト層としては、活性層 14 のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、 $Al_jGa_{1-j}N$ ($0 < j < 0.3$) が好ましい。n 型コンタクト層の膜厚は特に限定されるものではないが、好ましくは $1 \mu m$ 以上、より好ましくは $3 \mu m$ 以上である。次に、n 型クラッド層を成長させる。n 型クラッド層は Al を含有しており、n 型不純物濃度は特に限定されるものではないが、好ましくは $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / cm^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / cm^3$ である。また、n 型不純物濃度に傾斜をつけても良い。また、Al の組成傾斜をつけることで、キャリアの閉じ込めのためのクラッド層としても機能する。

【0038】

活性層 14 は発光層として機能し、少なくとも $Al_aIn_bGa_{1-a-b}N$ ($0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ 、 $a + b < 1$) から成る井戸層と、 $Al_cIn_dGa_{1-c-d}N$ ($0 < c < 1$ 、 $0 < d < 1$ 、 $c + d < 1$) から成る障壁層とを含む量子井戸構造を有する。活性層 14 に用いられる窒化物半導体は、ノンドープ、n 型不純物ドーピング、p 型不純物ドーピングのいずれでも良い。好ましくは、ノンドープもしくは、又は n 型不純物ドーピングの窒化物半導体を用いることにより、発光素子を高出力化することができる。さらに好ましくは、井戸層をアンドープとし、障壁層を n 型不純物ドーピングとすることで、発光素子の出力と発光効率を高めることができる。また発光素子に用いる井戸層に Al を含ませることで、従来の InGaN の井戸層では困難な波長域、具体的には、GaN のバンドギャップエネルギーである波長 $365 nm$ 付近、もしくはそれより短い波長を得ることができる。活性層 14 から放出する光の波長は、発光素子の目的、用途等に応じて $360 nm \sim 650 nm$ 付近、好ましくは $380 nm \sim 560 nm$ の波長とする。

【0039】

井戸層の膜厚は、好ましくは $1 nm$ 以上 $30 nm$ 以下、より好ましくは $2 nm$ 以上 $20 nm$ 以下、さらに好ましくは $2 nm$ 以上 $20 nm$ 以下である。 $1 nm$ より小さいと井戸層として良好に機能せず、 $30 nm$ より大きいと InAlGa_N の 4 元混晶の結晶性が低下し素子特性が低下するからである。また、 $2 nm$ 以上では膜厚に大きなむらがなく比較的均一な膜質の層が得られ、 $20 nm$ 以下では結晶欠陥の発生を抑制して結晶成長が可能となる。さらに膜厚を $3.5 nm$ 以上とすることで出力を向上させることができる。これは井戸層の膜厚を大きくすることで、大電流で駆動させる LD のように多数のキャリア注入に対して、高い発光効率及び内部量子効率により発光再結合がなされるものであり、特に多重量子井戸構造において効果を有する。また、単一量子井戸構造では膜厚を $5 nm$ 以上とすることで上記と同様に出力を向上させる効果が得られる。また、井戸層の数は特に限定されないが、4 以上の場合には井戸層の膜厚を $10 nm$ 以下として活性層 14 の膜厚を低く抑えることが好ましい。活性層 14 を構成する各層の膜厚が厚くなると、活性層 14 全体の膜厚が厚くなり V_f の上昇を招くからである。多重量子井戸構造の場合、複数の井

10

20

30

40

50

戸の内、好ましくは上記の 10 nm 以下の範囲にある膜厚の井戸層を少なくとも 1 つ有すること、より好ましくは全ての井戸層を上記の 10 nm 以下とすることである。

【0040】

また、障壁層は、井戸層の場合と同様に、好ましくは p 型不純物又は n 型不純物がドーピングされているか又はアンドープであること、より好ましくは n 型不純物がドーピングされているか又はアンドープであることである。例えば、障壁層中に n 型不純物をドーピングする場合、その濃度は少なくとも $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上が必要である。例えば、LED では、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下が好ましい。また、高出力の LED や LD では、 $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である。この場合、井戸層は n 型不純物を実質的に含有しないか、あるいはアンドープで成長させることが好ましい。また、障壁層に n 型不純物をドーピングする場合、活性層内のすべての障壁層にドーピングしても良く、あるいは、一部をドーピングとし一部をアンドープとすることもできる。ここで、一部の障壁層に n 型不純物をドーピングする場合、活性層内で n 型層側に配置された障壁層にドーピングすることが好ましい。例えば、n 型層側から数えて n 番目の障壁層 B_n (n は正の整数) にドーピングすることで、電子が効率的に活性層内に注入され、優れた発光効率と内部量子効率を有する発光素子が得られる。また、井戸層についても、n 型層側から数えて m 番目の井戸層 W_m (m は正の整数) にドーピングすることにより上記の障壁層の場合と同様の効果が得られる。また、障壁層と井戸層の両方にドーピングしても同様の効果が得られる。

【0041】

次に、活性層 14 上に p 型窒化物半導体層 15 として以下の複数層 (図示せず) を形成する。まず p 型クラッド層としては、活性層 14 のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層 14 へのキャリアの閉じ込めができるものであれば特に限定されない。例えば $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 1$) が用いられ、特に $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 0.4$) が好ましい。p 型クラッド層の膜厚は特に限定されないが、好ましくは $0.01 \sim 0.3\text{ }\mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.04 \sim 0.2\text{ }\mu\text{m}$ とする。p 型クラッド層の p 型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ とする。p 型不純物濃度が上記の範囲にあると、結晶性を低下させることなくバルク抵抗を低下させることができる。p 型クラッド層は、単一層でも多層膜層 (超格子構造) でも良い。多層膜層の場合、上記の $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であれば良い。例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、n 型クラッド層の場合と同様に、 $\text{In}_l\text{Ga}_{1-l}\text{N}$ ($0 < l < 1$)、 $\text{Al}_m\text{Ga}_{1-m}\text{N}$ ($0 < m < 1$ 、 $m > 1$) が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、超格子構造の場合は、一層の膜厚が好ましくは $100\text{ }\text{\AA}$ 以下、より好ましくは $70\text{ }\text{\AA}$ 以下、さらに好ましくは $10 \sim 40\text{ }\text{\AA}$ とすることができる。また、p 型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方に p 型不純物をドーピングさせても良い。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なっても良い。

【0042】

次に p 型クラッド層上に p 型コンタクト層を形成する。p 型コンタクト層は、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 < f < 1$) が用いられ、特に、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 < f < 0.3$) で構成することにより、オーミック電極である p 電極と良好なオーミックコンタクトが可能となる。p 型不純物濃度は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上が好ましい。また、p 型コンタクト層は、導電性基板側で p 型不純物濃度を高くすることが好ましい。この場合、組成勾配は、連続的に組成を変化させても、あるいは不連続に段階的に組成を変化させても良い。例えば、p 型コンタクト層を、オーミック電極と接し、p 型不純物濃度が高く Al 組成比の低い第 1 の p 型コンタクト層と、p 型不純物濃度が低く Al 組成比の高い第 2 の p 型コンタクト層とで構成することもできる。第 1 の p 型コンタクト層により良好なオーミック接触が得られ、第 2 の p 型コンタクト層により自己吸収を防止することが可能となる。

【 0 0 4 3 】

以上のように窒化物半導体を基板 1 1 上に成長させた後、ウェハーを反応装置から取り出し、その後、酸素及び／又は窒素を含む雰囲気中で 4 5 0 以上で熱処理をする。これにより p 型層に結合している水素が取り除かれ、p 型の伝導性を示す p 型窒化物半導体層 1 5 を形成する。

【 0 0 4 4 】

基板上に形成される窒化物半導体層としては、例えば次の (1) ~ (4) に示すような積層構造が利用できる。

(1) 膜厚が 2 0 0 の GaN よりなるバッファ層、膜厚が 4 μ m の Si ドープ n 型 GaN よりなる n 型コンタクト層、膜厚が 3 0 のノンドープ $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ よりなる単一量子井戸構造の活性層、膜厚が 0 . 2 μ m の Mg ドープ p 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなる p 型クラッド層、膜厚が 0 . 5 μ m の Mg ドープ p 型 GaN よりなる p 型コンタクト層よりなる積層構造。

10

【 0 0 4 5 】

(2) 膜厚が約 1 0 0 オングストロームの $AlGaIn$ からなるバッファ層、膜厚 1 μ m のアンドープ GaN 層、膜厚 5 μ m の Si を $4.5 \times 10^{18} / cm^3$ 含む GaN からなる n 側コンタクト層、3 0 0 0 のアンドープ GaN からなる下層と、3 0 0 の Si を $4.5 \times 10^{18} / cm^3$ 含む GaN からなる中間層と、5 0 のアンドープ GaN からなる上層との 3 層からなる n 側第 1 多層膜層 (総膜厚 3 3 5 0)、アンドープ GaN からなる窒化物半導体層を 4 0 とアンドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなる窒化物半導体層を 2 0

20

とが繰り返し交互に 1 0 層ずつ積層されてさらにアンドープ GaN からなる窒化物半導体層を 4 0 の膜厚で形成された超格子構造の n 側第 2 多層膜層 (総膜厚) 6 4 0)、膜厚が 2 5 0 のアンドープ GaN からなる障壁層と膜厚が 3 0 の $In_{0.3}Ga_{0.7}N$ からなる井戸層とが繰り返し交互に 6 層ずつ積層されてさらに膜厚が 2 5 0 のアンドープ GaN からなる障壁が形成された多重量子井戸構造の活性層 (総膜厚 1 9 3 0)、Mg を $5 \times 10^{19} / cm^3$ 含む $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる窒化物半導体層を 4 0 と Mg を $5 \times 10^{19} / cm^3$ 含む $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ からなる窒化物半導体層を 2 5 とが繰り返し 5 層ずつ交互に積層されて、さらに Mg を $5 \times 10^{19} / cm^3$ 含む $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる窒化物半導体層を 4 0 の膜厚で形成された超格子構造の p 側多層膜層 (総膜厚 3 6 5)、膜厚が 1 2 0 0 の Mg を $1 \times 10^{20} / cm^3$ 含む GaN からなる p 側コン

30

【 0 0 4 6 】

(3) バッファ層、アンドープ GaN 層、Si を $6.0 \times 10^{18} / cm^3$ 含む GaN からなる n 側コンタクト層、アンドープ GaN 層 (以上が総膜厚 6 nm の n 型窒化物半導体層)、Si を $2.0 \times 10^{18} / cm^3$ 含む GaN 障壁層と $InGaIn$ 井戸層とを繰り返し 5 層ずつ交互に積層された多重量子井戸の活性層、膜厚が 1 3 0 0 の Mg を $5.0 \times 10^{18} / cm^3$ 含む GaN からなる p 型窒化物半導体層よりなる積層構造。さらに透光性導電層と p 型窒化物半導体層との間に $InGaIn$ 層を 5 0 の膜厚で有してもよい。

【 0 0 4 7 】

(4) バッファ層、アンドープ GaN 層、Si を $1.3 \times 10^{19} / cm^3$ 含む GaN からなる n 側コンタクト層、アンドープ GaN 層 (以上が総膜厚 6 nm の n 型窒化物半導体層)、Si を $3.0 \times 10^{18} / cm^3$ 含む GaN 障壁層と $InGaIn$ 井戸層とを繰り返し 7 層ずつ交互に積層された多重量子井戸の活性層 (総膜厚 8 0 0)、膜厚が 1 3 0 0 の Mg を $2.5 \times 10^{20} / cm^3$ 含む GaN からなる p 型窒化物半導体層よりなる積層構造。さらに透光性導電層と p 型窒化物半導体層との間に $InGaIn$ 層を 5 0 の膜厚で有してもよい。

40

【 0 0 4 8 】

[透光性導電層 1 7]

このようにして成長された p 型窒化物半導体層 1 5 上に、透光性導電層 1 7 を形成する。なお透光性とは、発光素子の発光波長を透過できるという意味であって、必ずしも無色

50

透明を意味するものではない。透光性導電層 17 は、オーミック接触を得るために、好ましくは酸素を含むものとする。酸素を含む透光性導電層 17 には数々の種類があるが、好ましくは亜鉛 (Zn)、インジウム (In)、スズ (Sn) よりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物とする。具体的には、ITO、ZnO、In₂O₃、SnO₂等、Zn、In、Snの酸化物を含む透光性導電層 17 を形成することが望ましく、好ましくはITOを使用する。あるいはNi等の金属を30 等の膜厚でスパッタして透明にした金属膜でもよい。このように、露出したp型半導体層のほぼ全面に導電層が形成されることにより、電流をp型半導体層全体に均一に広げることができる。しかも透光性を備えることで、電極側を発光観測面とすることもできる。以下の例では、透光性導電層 17 としてITOの透光性電極を使用する例を説明する。

10

【0049】

透光性導電層 17 の中に酸素原子を含ませるには、酸素原子を含有させる層を形成した後、酸素を含む雰囲気にて熱処理すればよい。あるいは、反応性スパッタリング、イオンビームアシスト蒸着等により、それぞれの層に酸素原子を含有させることができるが、工程の容易さ等から熱処理が最も優れている。

【0050】

この透光性導電層 17 の厚さは、凹凸面が形成できる程度の厚さとし、好ましくは1 μm以下、さらに好ましくは100 から5000 とする。膜厚を1000 でオーミック性が確認され、厚くするとアニール温度が上昇する傾向にある。また、活性層 14 から放出される光の波長 に対して /4 のおよそ整数倍とすることが光取り出し効率が上がるので好ましい。

20

【0051】

窒化物半導体層に金属膜を接触させず、透光性導電層 17 を介在させることで窒化物半導体層との界面でオーミック接触を取ることができる。特にp型窒化物半導体層 15 は抵抗が高い傾向にあるため、この界面との接触抵抗を低減することは重要となる。さらに、透光性導電層 17 に反射膜を形成することによって光取り出し効率を上げることができ、また反射層 31 を形成することによって、透光性導電層と金属電極との界面における劣化を抑止して剥離、電気的特性の悪化などを抑止する。

【0052】

[反射層 31]

30

透光性導電層 17 の表面に、反射層 31 を部分的に形成する。好ましくは所定のパターンで部分的に形成する。反射層 31 は多層構造とし、透光性導電層 17 であるITOに接する層を透光性膜 311 とする。

【0053】

[透光性膜 311]

透光性膜 311 は絶縁性を備える層であり、これによって透光性膜 311 の上面に形成される反射膜 312 と透光性導電層 17 とを絶縁する。また、反射層 31 を設けない領域を導通経路 32 として、ITOに効率的に通電して電流拡散と低抵抗化とを図る。透光性膜 311 は単独で、あるいは層全体でITOと好ましいオーミック接続をし、ITOに投入された電流を半導体層側に拡散させる。また透光性膜 311 は、半導体発光素子からの光を効率よく取り出せるように高い透光性を有する。そのため透光性膜 311 は、好ましくは酸素を含み、より好ましくは酸化物とし、さらに好ましくはシリコン (Si)、Al よりなる群から選択された少なくとも一種の元素の酸化物とする。具体的には、SiO₂、Al₂O₃等とし、好ましくはSiO₂を使用する。

40

【0054】

透光性膜 311 の厚さは特に限定するものではなく、数オングストローム～数 μm の厚さで形成可能である。特に、透光性膜 311 の上面に形成される金属膜と共に設けられる場合の透光性膜 311 の膜厚は、100 から5000 とすることが好ましい。

【0055】

[金属膜]

50

透光性膜 311 の上面には、反射膜 312 として金属膜が形成される。金属膜は、少なくとも Al、Ag、W、Pt、Zn、Ni、Pd、Rh、Ru、Os、Ir、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Co、Fe、Mn、Mo、Cr、La、Cu、Y よりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む金属または合金またはそれらの酸化物を含む層を有する多層構造である。特に透光性膜 311 の上面に形成される金属膜は、好ましくは Al もしくは Ag を使用する。透光性膜 311 は、その上面に形成される金属膜と一体的に形成される。このような反射層 31 は、例えば $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{W}$ 、および $\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{W}/\text{Pt}$ の積層構造、あるいは W のみ等で構成される。

【0056】

[誘電体多層膜]

また透光性膜 311 の上面には、反射膜 312 として金属膜に代えて、誘電体多層膜を形成してもよい。誘電体多層膜は、Si、Ti、Zr、Nb、Ta、Al よりなる群から選択された少なくとも一種の酸化物または窒化物から選択された少なくとも 2 つを繰り返し積層した誘電体多層膜である。この場合、反射層 31 は、例えば $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)_n$ (ただし n は自然数) の積層構造等で構成される。

【0057】

[パッド電極]

透光性導電層上に反射層 31 が形成された後、その上に金属電極層 40 としてパッド電極を形成する。パッド電極は、表面に表面に導電性ワイヤがワイヤーボンディングされ、発光素子と外部電極との電氣的接続を図ることができる。あるいは、パッド電極表面に Au パンプのような導電部材を配置し、導電部材を介して対向された発光素子の電極と外部電極との電氣的接続を図ることができる。またパッド電極は透光性導電層と一部が直接接しており、透光性導電膜に均一に電流を流すことができる。パッド電極には既存の構成が適宜採用できる。例えば Au、Pt、Pd、Rh、Ni、W、Mo、Cr のいずれかの金属またはこれらの合金やそれらの組み合わせから成る。図 3 の例では、パッド電極は下面から $\text{W}/\text{Pt}/\text{Au}$ 、 $\text{Rh}/\text{Pt}/\text{Au}$ 、 $\text{W}/\text{Pt}/\text{Au}/\text{Ni}$ 、もしくは Pt/Au の積層構造としている。

【0058】

本実施の形態において、パッド電極は、p 型窒化物半導体層 15 側および n 型窒化物半導体層 13 側のうち、一方の窒化物半導体層側に設けられた透光性導電層 17 および他方の窒化物半導体層に対して形成される。また本発明に係る他の実施の形態におけるパッド電極の一部は、透光性導電層 17 に設けた貫通孔内に延在させて窒化物半導体層に直接設けたり、あるいは透光性導電層 17 の外縁にて窒化物半導体層に直接設けてもよい。このように、パッド電極の一部が窒化物半導体層に直接設けられることによってパッド電極の剥離を防止することができる。

【0059】

パッド電極表面に Au パンプのような導電部材を配置し、導電部材を介して対向された発光素子の電極と外部電極との電氣的接続を図ることができる。

【0060】

また、p 型窒化物半導体層 15 側および n 型窒化物半導体層 13 側に形成されるパッド電極は、用いる金属の種類や膜厚が同じ構成とすることが好ましい。このように同じ構成とすることによって、p 型窒化物半導体層 15 側および n 型窒化物半導体層 13 側とで同時にパッド電極を形成することができるため、p 型窒化物半導体層 15 側および n 型窒化物半導体層 13 側とを別々に形成する場合と比較して、パッド電極の形成の工程を簡略化することができる。本実施の形態におけるパッド電極として、例えば、p 型窒化物半導体層 15 あるいは n 型窒化物半導体層 13 側から W、Pt、Au のそれぞれをスパッタリングにより順に積層させた $\text{W}/\text{Pt}/\text{Au}$ 電極 (その膜厚として、例えばそれぞれ 20 nm / 200 nm / 500 nm) や、さらに Ni を積層させた $\text{W}/\text{Pt}/\text{Au}/\text{Ni}$ 、あるいは Ti、Rh、Pt、Au のそれぞれをスパッタリングにより順に積層させた $\text{Ti}/\text{Rh}/\text{Pt}/\text{Au}$ 電極等が利用できる。パッド電極の最上層を Au とすることによって、パッ

ド電極は、Auを主成分とする導電性ワイヤと良好な接続ができる。また、RhとAuの間にPtを積層させることによって、AuあるいはRhの拡散を防止することができる。また、Rhは、光反射性およびバリア性に優れ、光取り出し効率が向上するため好適に用いることができる。

【0061】

[反射層31の形成パターン]

反射層31を形成するパターンは、任意のパターンを使用できる。これらのパターンは、レジストパターンの上からRIE (reactive ion etching) やイオンミリング (ion milling)、リフトオフ等の方法により形成する。好ましいパターンとしては、図4の平面図に示すようにドット状、または図5に示すようにブロック状とする。図4に示す透光性導電層は、反射層31がドット状にパターンニングされている。一方図5に示す例では、反射層31をブロック状にパターンニングしている。またこれら図において破線で示す領域は、図3に示す絶縁性保護膜50の開口部51、52を示している。51はn型電極部分の開口部、52はp型電極部分の開口部をそれぞれ示す。このように、反射膜312をITOの全面に設けず、部分的にITOが表出してパッド電極と接触するような構造とすることで、図6に示すようにこの領域が導通経路32となって、電氣的障壁の高い領域を回避して電流が流れることで、接触抵抗を実質的に低減して順方向電圧を低下させることができる。なお、反射層31の形成パターンは上記図4、図5の例に限られず、例えばドットの形状を円形、楕円形、矩形状、多角形状などとしたり、またブロック状のパターンの縦横幅を適宜変更したり、矩形状のみならずさらに対角線を通した三角形状や円形、半円形、多角形状としたり、これらの配置を千鳥状としてもよい。また全体に均一に配置する例に限られず、領域ごとに大きさや密度を適宜変更したり、上記のパターンを組み合わせることもできる。

【0062】

また、反射層を透光性導電層上に設けることにより、界面における臨界角を小さくして全反射する領域を増やし、光の取り出し効率を改善できるという効果も得られる。この様子を図7に基づいて説明する。図7はITO層と半導体層、およびITO層と絶縁層との界面における全反射領域を説明している。図7(a)に示すように、GaN層とITO層との界面では、GaN層の屈折率 $n = 2.5$ 、ITO層の屈折率 $n = 2.0$ とすると、スネルの法則より臨界角 $\theta_c = 53^\circ$ となるが、これに対して図7(b)に示すように、ITO層とSiO₂層との界面では、ITO層の屈折率 $n = 2.0$ 、SiO₂層の屈折率 $n = 1.48$ とすると、臨界角 $\theta_c = 48^\circ$ となり、臨界角を小さくできる。このように、反射層を透光性導電層上に形成すると、界面における全反射領域が広くなり、光をより多く取り出すことができる。

【0063】

また界面での光の吸収によって光の取り出し効率が悪化するという問題もある。図8(a)に示すように、透光性導電層17を介することなく直接GaN等の窒化物半導体層23と金属膜24の反射膜とを接合させると、金属膜との界面25で光の吸収が生じてしまい、有効に取り出せる光が失われる。吸収率は材質によって異なるが、AlとGaNの場合で約10%となる。これに対して、図8(b)に示すようにITOなどの透光性導電層17を介在させることで、窒化物半導体との界面26で光の吸収を抑え、また金属膜24の反射膜との界面27での光の吸収も抑制でき、有効に利用できる光を増やして光取り出し効率、外部量子効率を改善して発光出力を高めることができる。これに加えて、例えば界面を凹凸面とすることで、より多くの光を外部に取り出すことができるようになり、さらに出力が改善される。

【0064】

[反射膜312]

フリップチップ実装用の窒化物半導体発光素子を作成する場合は、以上のようにして形成された透光性導電層17上に、図3に示すように反射層31を部分的に形成する。反射層31は、透光性膜311と反射膜312の積層により構成される。透光性膜311は上

述の通り絶縁性を備える層である。反射膜 3 1 2 は、例えば金属膜で形成できる。金属膜は、酸素を含有する透光性導電層 1 7 との接続を良好に行うため、一部が酸化されていることが好ましい。このように金属膜の反射膜 3 1 2 を透光性導電層 1 7 を介して窒化物半導体層と接続することにより、透光性導電層 1 7 は半導体層と良好なオーミック接続を行うことができる。

【 0 0 6 5 】

また金属膜と窒化物半導体と直接接合をさせると、金属膜から不純物が窒化物半導体層に拡散して汚染される問題や、界面での接合性が悪く剥離などの問題が生じて歩留まりが低下することがある。間に酸化膜を介在させると、酸化膜が保護膜となって拡散が阻止される。

10

【 0 0 6 6 】

金属膜は、p型窒化物半導体の電極となり、かつ反射率の高い薄膜を形成できる材料を使用する。特にアルミニウム (Al)、銀 (Ag)、亜鉛 (Zn)、ニッケル (Ni)、白金 (Pt) パラジウム (Pd)、ロジウム (Rh)、ルテニウム (Ru)、オスミウム (Os)、イリジウム (Ir) チタン (Ti)、ジルコニウム (Zr)、ハフニウム (Hf)、バナジウム (V)、ニオブ (Nb)、タンタル (Ta)、コバルト (Co)、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、モリブデン (Mo)、クロム (Cr)、タングステン (W)、ランタン (La)、銅 (Cu)、イットリウム (Y) よりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む金属または合金が好ましい。特に Al や Ag が反射率やライフ特性の面から好ましい。Al は反射率を 90% 以上とできる。これによって窒化物半導体よりなる発光素子の 360 nm ~ 650 nm 付近、望ましくは 380 nm ~ 560 nm の波長の吸収が少ない。また、金属膜の層を上記で列挙した金属の積層構造としてもよい。積層構造の場合、後に電極を熱的アニールで処理して、電極材料が金属膜の中で渾然一体となって合金化した状態としてもよい。

20

【 0 0 6 7 】

これら透光性導電層 1 7 や反射膜 3 1 2 は、多層構造としても良い。例えば、多層構造で半導体層側に位置する第二の層の屈折率を、第一の層の屈折率より段階的に小さくすることにより、発光素子からの光の取り出しを向上させることができる。また反射膜 3 1 2 を誘電体で構成することもできる。誘電体は、好ましくは酸化物の積層構造とする。酸化物は金属よりも化学的に安定しているので、金属膜の反射膜に比べてより信頼性高く使用することができる。また反射率を 100% に近い値とでき、反射膜での光の吸収による損失を極減できる。

30

【 0 0 6 8 】

なお、本実施の形態における窒化物半導体発光素子は、p型層に対して透光性導電層 1 7 および反射層 3 1 を設けているが、他の形態においてn型層に対して透光性導電層 1 7 等を設けてもよいことはいうまでもない。例えば、n型層の側から主に光を取り出す構成とし、n層のパッド電極に凹凸面を形成し、反射膜を設けてもよい。

【 0 0 6 9 】

発光素子としてLEDやレーザを作成する場合、一般的には特定の基板上に各半導体層を成長させて形成されるが、その際、基板としてサファイア等の絶縁性基板を用いその絶縁性基板を最終的に取り除かない場合、通常、p電極およびn電極はいずれも半導体層上の同一面側に形成される。これによって、絶縁性基板側を視認側に配置し発光された光を基板側から取り出すフリップチップ実装が実現される。もちろん、最終的に基板を除去した上で、フリップチップ実装することもできる。このように、光の取り出し効率を良くし、外部量子効率を改善してより大きな発光パワーを得ることができる。

40

【 0 0 7 0 】

なお、以上の例ではフリップチップ実装する例を説明したが、本発明をフェイスアップで使用することも可能である。フェイスアップで実装する場合、出力光は基板側でなく電極形成面から出射されるので、反射膜は不要となる。

【 実施例 1 】

50

【0071】

以下、本発明に係る実施例について詳述する。図3に示す構成の半導体発光素子としてLEDを作成する。まず、MOVPE反応装置を用い、2インチのサファイア基板11の上にGaNよりなるバッファ層を200オングストローム、Siドープn型GaNよりなるn型コンタクト層を4 μ m、ノンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる単一量子井戸構造の活性層14を30オングストローム、Mgドープp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるp型クラッド層を0.2 μ m、Mgドープp型GaNよりなるp型コンタクト層を0.5 μ mの膜厚で順に成長させる。

【0072】

さらにウエハーを反応容器内において、窒素雰囲気とし温度600でアニーリングして、p型窒化物半導体層15をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウエハーを反応容器から取り出し、最上層のp型GaNの表面に所定の形状のマスクを形成し、エッチング装置でマスクの上からエッチングを行い、図3に示すようにn型コンタクト層の一部を露出させる。

10

【0073】

次に、p型窒化物半導体層15の上のマスクを除去し、最上層のp型GaNのほぼ全面に透光性導電層17としてITOを4000の膜厚でスパッタする。スパッタ後の透光性導電層17は明らかに透光性となっており、サファイア基板11まで透けて観察できた。このように、露出したp型窒化物半導体層15のほぼ全面に透光性導電層17が形成されることにより、電流をp型窒化物半導体層15全体に均一に広げることができる。ITOは300でスパッタするが、室温でスパッタする場合は、形成後に加熱するアニーリング処理をすればよい。

20

【0074】

さらに、この上にスパッタにより反射層31の透光性絶縁膜としてSiO₂を100の膜厚で成膜する。さらに続けて金属膜としてAlを2000の膜厚で成膜し、続いて、Wを2000オングストロームの膜厚で成膜する。SiO₂/Al/Wの積層構造をリフトオフにより図4のようにドット状にパターンニングし、反射層31を作成した。

【0075】

反射層31をパターンニングして形成した後、p型半導体層の上のほぼ全面に、W/Pt/Auの積層構造のパッド電極を7000の膜厚で形成する。なお、このパッド電極は透光性ではない。

30

【0076】

パッド電極を形成した後、露出したn型半導体層にW/Pt/Auを含むn電極を7000の膜厚で形成し、最後にアニール装置にて400以上で熱処理を施し、電極を合金化させる。

【0077】

以上のようにして、n型コンタクト層とp型コンタクト層とに電極を形成したウエハーを、350 μ m角のチップ状に切断し、図2のようにサブマウント10上にフリップチップ実装する。

【0078】

40

以上のように、窒化物半導体発光素子をフリップチップでマウント基板上に形成することによって、複数の窒化物半導体発光素子を等電位で実装でき、フェイスアップで実装するよりも、窒化物半導体発光装置の小型化が図れる。特にフェイスアップ実装にすると、パッド電極を設ける必要があることから発光面積が減ってしまうが、フリップチップ実装では基板11の裏面側全面を発光面とでき、広い面積で発光できる。また接合に共晶合金を用いることで、小型化にしても比較的発光面積を大きく取ることができる。また、透光性導電層17や反射膜312の膜厚を調節することで、素子の発光面を水平としたり、水平から傾斜して設けたりすることが容易にできる。

【産業上の利用可能性】

【0079】

50

本発明の窒化物半導体発光素子は、例えば発光ダイオード（ＬＥＤ）やレーザダイオード（ＬＤ）等としてフルカラーＬＥＤディスプレイ、ＬＥＤ信号機、道路情報表示板等のＬＥＤデバイス、あるいは太陽電池、光センサー等の受光素子としてイメージスキャナー等に適用したり、あるいはまた電子デバイス（ＦＥＴ等のトランジスタやパワーデバイス）や、これらを用いた光ディスク用光源等大容量の情報を記憶するＤＶＤ等のメディアや通信用の光源、印刷機器、照明用光源等に好適に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【００８０】

【図１】従来の透明電極を利用したＬＥＤの一例を示す概略断面図である。

【図２】窒化物半導体発光素子をフリップチップ実装したＬＥＤを示す概略断面図である

10

。

【図３】本発明の第１の実施の形態に係る窒化物半導体発光素子を示す概略断面図である

。

【図４】透光性導電層の上面に反射層を設けた一例を示す略平面図である。

【図５】透光性導電層の上面に反射層を設けた他の例を示す略平面図である。

【図６】パッド電極から電流が流れる経路を示す説明図である。

【図７】ＩＴＯ層と半導体層、およびＩＴＯ層と絶縁層との界面における全反射領域を示す説明図である。

【図８】窒化物半導体層と金属膜の反射膜との間に透光性導電層を介在させることによる光吸収の変化を示す説明図である。

20

【符号の説明】

【００８１】

１…サファイア基板

２…ｎ型ＧａＮ層

３…ＩｎＧａＮ発光層

４…ｐ型ＧａＮ層

５…ｐ側透明電極

７…ｐ側電極

８…ｎ側電極

９…ＬＥＤチップ

30

１０…サブマウント

１１…基板

１２…バッファ層

１３…ｎ型窒化物半導体層

１４…活性層

１５…ｐ型窒化物半導体層

１７…透光性導電層

２０…バンブ

２１…ワイヤー

２３…窒化物半導体層

40

２４…金属膜

２５…窒化物半導体層と金属膜との界面

２６…窒化物半導体層と透光性導電層との界面

２７…透光性導電層と金属膜との界面

３１…反射層

３１１…透光性膜

３１２…反射膜

３２…導通経路

３５…ｐ型コンタクト層

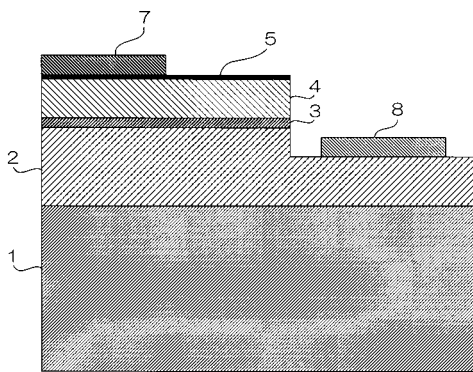
４０…金属電極層

50

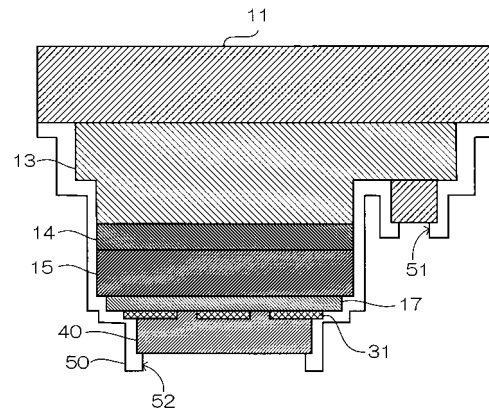
5 0 ... 絶縁性保護膜

5 1、5 2 ... 保護膜の開口部

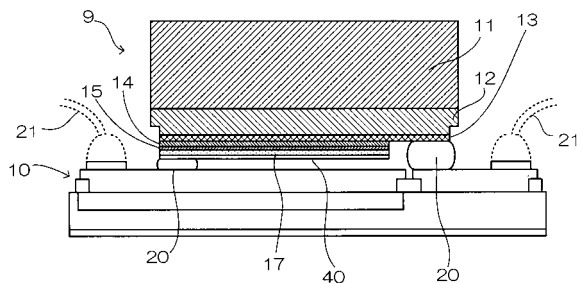
【図 1】



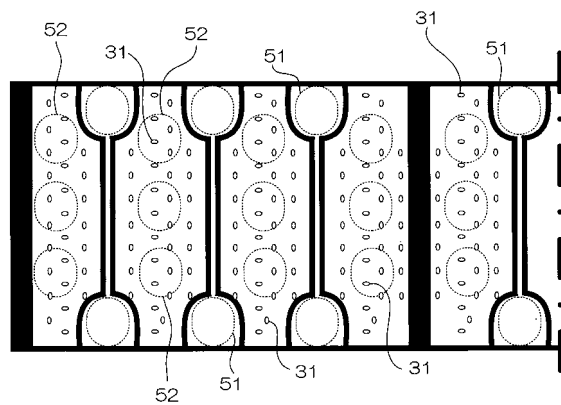
【図 3】



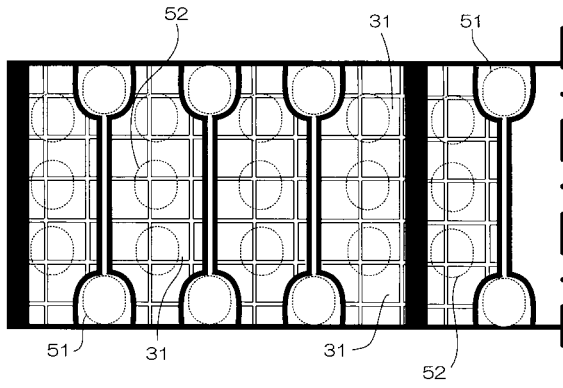
【図 2】



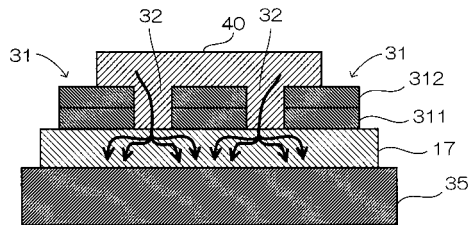
【図 4】



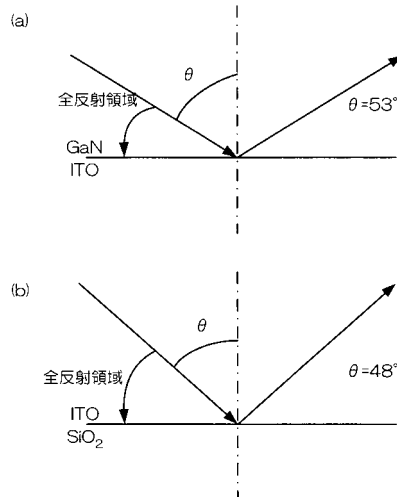
【図 5】



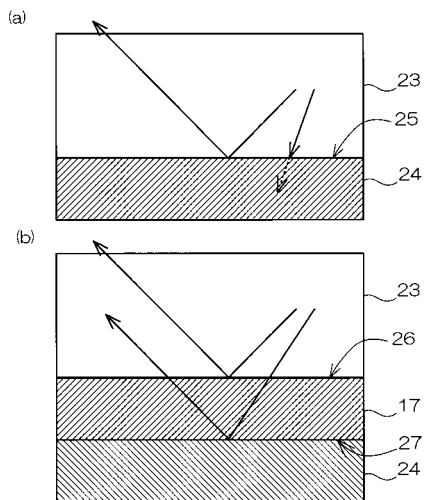
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-224297(JP,A)
特開2000-216431(JP,A)
特開2003-163373(JP,A)
特開2003-234504(JP,A)
特開2003-124517(JP,A)
特開平10-256602(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 33/36