

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4660453号
(P4660453)

(45) 発行日 平成23年3月30日 (2011.3.30)

(24) 登録日 平成23年1月7日 (2011.1.7)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 33/32 (2010.01) HO 1 L 33/00 1 8 6
 HO 1 L 33/00 (2010.01) HO 1 L 33/00 L

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-306640 (P2006-306640)	(73) 特許権者	000002004
(22) 出願日	平成18年11月13日 (2006.11.13)		昭和電工株式会社
(65) 公開番号	特開2008-124254 (P2008-124254A)		東京都港区芝大門1丁目13番9号
(43) 公開日	平成20年5月29日 (2008.5.29)	(74) 代理人	100099759
審査請求日	平成21年8月3日 (2009.8.3)		弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100077517
			弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100111903
			弁理士 永坂 友康
		(72) 発明者	村木 典孝
			千葉県市原市八幡海岸通5-1 昭和電工株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板及び基板上に積層された窒化ガリウム系化合物半導体層からなる発光素子であって、発光素子側面の少なくとも1面において、半導体層の下方（基板側）が基板主面に対して5°～85°傾斜した逆テーパであり、上方が基板主面に対して95°～175°傾斜した順テーパであり、順テーパ側面が発光層を含んでいることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】

順テーパ部分の厚さが0.1～3μmである請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】

逆テーパ部分の厚さが0.1～10μmである請求項1または2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】

順テーパおよび逆テーパがオルトリン酸を主成分とする化学的エッチング法によりそれぞれ形成される請求項1～3のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】

基板がサファイアC面である請求項1～4のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 6】

順テーパーおよび逆テーパーを有する側面がサファイア基板上の C 面方向から見て A 面側である請求項 5 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 7】

サファイア基板上の C 面方向から見て M 面側である側面は、順テーパーおよび逆テーパーが形成されず垂直面である請求項 5 または 6 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 8】

発光素子の外形が平面視四角形であり、相対する側面のそれぞれが順テーパーおよび逆テーパーを有し、もう一方の相対する側面のそれぞれが垂直面である請求項 5 ~ 7 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

10

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子からなるランプ。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のランプが組み込まれている電子機器。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の電子機器が組み込まれている機械装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関し、特に優れた発光出力と配光均一性を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、短波長発光素子用の半導体材料として GaN 系化合物半導体材料が注目を集めている。GaN 系化合物半導体は、サファイア単結晶を始めとして、種々の酸化物や III-V 族化合物を基板として、その上に有機金属気層成長法 (MOCVD 法) や分子線エビタキシー法 (MBE 法) 等によって形成されている。

【0003】

30

ところで、発光素子の外部量子効率、光取出し効率と内部量子効率を掛け合わせたものとして表される。内部量子効率とは、発光素子に注入した電流のエネルギーのうち、光に変換される割合である。一方の光取り出し効率とは、半導体結晶内部で発生した光の総量を外部へ取り出すことのできる割合である。

【0004】

発光素子の内部量子効率に於いては、近年、窒化ガリウム系化合物半導体結晶品質の改善や、発光層構造の検討により 70 ~ 80 % 程度まで向上していると言われ、注入電流量に対して十分な効果が得られていると報告されている。

【0005】

しかしながら、GaN 系化合物半導体のみならず、発光ダイオード (LED) に於いては、一般的に発生した光に対する光取出し効率は押並べて低く、注入電流によって発生した内部発光を十分に外部に取り出せているとは言い難い。

40

【0006】

光取り出し効率が低いのは、発光層で発光した光が、LED 構造内の結晶材質による反射・吸収を繰り返し、半導体層外部に光が射出する際に、スネルの法則によるところの臨界角以上の反射に於いて、外部に発光が取り出される事無く、結晶内部に光が再反射し、光が外部に到達する確率を低下させている事が原因である。

【0007】

この光取り出し効率を向上させる為に、光取り出し面に面加工し、さまざまな角度等を設けて、光の取り出し効率を向上させる技術が提案されている (例えば、特許文献 1 およ

50

び2参照)。

【0008】

また、本発明者等は、光を効率良く発光素子上面から取り出す事を可能にするため、発光素子側面の半導体層を基板主面に対して90°未満の角度を有する逆テーパ形状にすることを検討した。しかし、この逆テーパ形状側面を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を一般的な発光パッケージに実装し、発光角度を含めた出力特性を調査すると、逆テーパ形状側面により反射された発光により正面方向に於いては良好な発光出力を得られたものの、発光素子側面の低角度領域においては、十分な発光出力が得られず、配光均一性は満足するものでないことが判明した。

【0009】

近年、LED発光パッケージにおいては、省スペースおよび高効率の目的のため、従来使用されてきた素子に比較して高さの低い発光パッケージが求められている。特に発光素子を実装するためのパッケージ部分を改良し、パッケージ側面と発光素子との間隔を狭め、光の反射を利用してパッケージ全体での効率を向上させている。このような場合、素子からの光取り出し角度を制御し、利用する技術が重要になってきている。前述の逆テーパ形状側面を有する発光素子は、特に、このような半導体発光素子の側面光を利用する特殊発光パッケージに於いては十分な素子特性を得られない事が実験的に判明した。

【0010】

【特許文献1】特開2003-110136号公報

【特許文献2】特開2004-6662号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の目的は、従来技術に於ける上述した問題点を解決し、光取り出し効率と配光均一性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は下記の発明を提供する。

(1) 基板及び基板上に積層された窒化ガリウム系化合物半導体層からなる発光素子であって、発光素子側面の少なくとも1面において、半導体層の下方(基板側)が基板主面に対して5°~85°傾斜した逆テーパであり、上方が基板主面に対して95°~175°傾斜した順テーパであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0013】

(2) 順テーパ部分の厚さが0.1~3μmである上記1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0014】

(3) 逆テーパ部分の厚さが0.1~10μmである上記1または2項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0015】

(4) 順テーパおよび逆テーパがオルトリン酸を主成分とする化学的エッチング法によりそれぞれ形成される上記1~3項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0016】

(5) 基板がサファイアC面である上記1~4項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0017】

(6) 順テーパおよび逆テーパを有する側面がサファイア基板上のC面方向から見てA面側である上記5項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0018】

(7) サファイア基板上のC面方向から見てM面側である側面は、順テーパおよび逆

10

20

30

40

50

テーパーが形成されず垂直面である上記5または6項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0019】

(8) 発光素子の外形が平面視四角形であり、相対する側面のそれぞれが順テーパーおよび逆テーパーを有し、もう一方の相対する側面のそれぞれが垂直面である上記5～7項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0020】

(9) 上記1～8項のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子からなるランプ。

【0021】

(10) 上記9項に記載のランプが組み込まれている電子機器。

(11) 上記10項に記載の電子機器が組み込まれている機械装置。

【発明の効果】

【0022】

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、その側面の下方(基板側)が基板主面に対して $5^\circ \sim 85^\circ$ 傾斜した逆テーパーであり、上方が基板主面に対して $95^\circ \sim 175^\circ$ 傾斜した順テーパーであることによって、発光出力が高く、かつ配光均一性に優れている。特に、パッケージ側面と発光素子との間隔を狭めた特殊発光パッケージに装着しても、十分な発光出力を引き出すことが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

図1は本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の一例の断面を模式的に示した図である。図中、1は基板、10は窒化ガリウム系化合物半導体であり、バッファ層2、n型半導体層3、発光層4およびp型半導体層5からなっている。20は正極であり、透光性正極21および正極ボンディングパッド22からなっている。

【0024】

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、少なくとも1つの側面において、窒化ガリウム系化合物半導体10の下方部(基板側)11と基板主面とのなす角度が $5^\circ \sim 85^\circ$ の範囲にあり、かつ、上方部12と基板主面とのなす角度が $95^\circ \sim 175^\circ$ の範囲にあることを特徴としている。

【0025】

発光素子内部で発光した光が逆テーパーの側面11で反射すると、反射した光は半導体層の上面では臨界角以内となるので光が透過し発光素子から効率よく取り出され、光取出し効率が向上する。窒化ガリウム系化合物半導体および光取出し側の屈折率等を考慮すると、角度は $20^\circ \sim 80^\circ$ がさらに好ましく、 $30^\circ \sim 75^\circ$ が特に好ましい。

【0026】

また、発光素子上方部の側面12が順テーパーであると、側面12に入射した光は臨界角以内となるので光が透過し、側面からも光が取り出される。従って、配光均一性が向上するものと思われる。窒化ガリウム系化合物半導体および光取出し側の屈折率等を考慮すると、角度は $100^\circ \sim 160^\circ$ がさらに好ましく、 $105^\circ \sim 150^\circ$ が特に好ましい。

【0027】

素子側面12は半導体層の正極側に位置し、p型半導体側に形成される。素子側面12の高さkは $0.1 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$ 程度が望ましく、発光層から横方向の光を効率的に取り出すことを考慮すると、より望ましくは $0.2 \mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$ 程度である。逆テーパー側面11の高さをある程度確保しなければならないので $3 \mu\text{m}$ 以上にすることは好ましくない。また、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下では配光均一性の向上が僅かになる。順テーパー側面12が発光層を含んでいると、発光層から横方向の光を効率的に取り出せるので好ましい。

【0028】

素子側面11は半導体層の基板側に位置し、主にn型半導体層に形成される。素子側面

10

20

30

40

50

11の高さhは大きければ大きい程、光取出し効率が高くなるので好ましい。順テーパ加工を施した部分(素子側面12)以外は逆テーパ加工して素子側面11とすることが好ましく、その高さhは半導体層の厚さによるが $0.1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 程度が好ましい。

【0029】

順テーパ側面は例えば以下に述べるような工程によって形成することができる。まず、半導体ウェハに各発光素子に分割する部分(割溝部分)が露出するようにレジストにてパターニングした後、リアクティブイオンエッチング(RIE)型のドライエッチングを行なう。この段階では半導体露出部分が基板主面に対して垂直にエッチングされ、基板主面に対して垂直な側面を持った割溝が形成される。次いで、レジストを除去した後、オルトリン酸を主成分とするエッチング剤を用いてウェットエッチングする。このウェットエッチングでは、窒化ガリウム系化合物半導体のC面はエッチングされずにA面のみがエッチングされる。従って、C面からなる割溝底面はエッチングされずに、A面からなる側面のみがエッチングされる。この際、割溝上部の半導体角部のエッチング速度が速いので、側面下部から側面上部に向かってエッチング速度が速くなり、割溝側面は基板主面に対して順テーパを形成する。なお、A面と直交するM面もウェットエッチングされ難いので、矩形の発光素子の場合、向かい合った一对の側面が基板主面に対して順テーパになり、もう一对の側面は垂直になる。従って、縦横の長さが異なる発光素子においては、長辺側をA面にすることが好ましい。

【0030】

また、レーザーやダイサーにより機械的に基板主面に対して垂直な側面を有する割溝を形成した後、上述のウェットエッチングを行なってもよいし、垂直な側面を有する割溝を形成した後に、割溝上部の半導体角部を機械的に研削して順テーパの側面にしてもよい。

【0031】

一方、逆テーパ側面は例えば以下に述べるような工程によって形成することができる。上述のように順テーパ部分を形成した後、必要に応じて負極および/または正極を形成し、次いで割溝底面が露出するようにレジストにてパターニングする。次に、レーザスクライバ等により、割溝の深さが基板に達するように割溝部分の半導体を除去する。その後、オルトリン酸を主成分とするエッチング剤を用いてウェットエッチングすると、露出されている割溝側面が逆テーパ状にエッチングされる。この工程において割溝側面が逆テーパ状にエッチングされる理由は以下の理由によるものと思われる。

【0032】

異種基板上に積層された半導体層は、一般に基板に近いほど転位密度が大きくなる。ウェットエッチングにおけるエッチング速度は転位密度が大きいほど速くなる。従って、割溝側面を構成する半導体は基板に近いほどエッチング量が多くなり、割溝側面は逆テーパ状になる。なお、基板から離れた半導体層上部では、転位密度が小さくなるので、転位密度の低下によるエッチング速度の減少よりも角部によるエッチング速度の上昇が大きくなり、順テーパの側面になるものと思われる。

【0033】

これらの工程において用いられるレジストはポジ型でもネガ型でもよい。個々の素子の境界が露出されるように適当なパターンを持ったフォトリソマスクを用いて一般的な手続きに従ってリソグラフィを行う。或いはレジストが半導体ウェハを覆って個々の素子の境界が判別できればリソグラフィは必ずしも必要ではない。膜厚は $0.1\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ が好ましい。膜厚が薄いとウェットエッチング等の際に膜が剥がれやすく、厚いとリソグラフィの解像の問題や下のパターンの認識が困難になる。好適には $0.5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ であり、更には $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ であることが望ましい。

【0034】

窒化ガリウム系化合物半導体の基板に達するまでの除去はレーザーによって行うことが望ましい。窒化ガリウム系化合物半導体の吸収端より短い波長のレーザーを選ぶことにより、窒化ガリウム系化合物半導体の 10^5cm^{-1} に及ぶ高い吸収係数の為、被加工位置が

10

20

30

40

50

レーザー照射位置に限定される。レーザーの光学系を適当に選ぶことにより $10\ \mu\text{m}$ より狭い幅での加工も可能であり、素子収率の向上が図れる。基板のレーザー加工深さは $1\ \mu\text{m}$ 以上の範囲で任意に選べるが、加工深さが小さいと後の分割処理の形状不良が発生しやすい。 $10\ \mu\text{m}$ 以上であれば不良発生は抑制されるが、 $20\ \mu\text{m}$ 以上であれば更に望ましい。

【0035】

或は、機械的方法であるダイサーによる方法も可能である。この場合、切断に用いるブレードの選定を好適なものとし、基板への食い込み量をできるだけ小さくとどめることで素子の欠け、割れの発生を抑制することができる。基板への食い込み量は $1\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$ の範囲で任意にえらべるが、 $1\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$ 、更に好ましくは $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ で選

10

【0036】

ウェットエッチングはオルトリン酸を用いて行われる。所定の加熱装置に納められたピーカーにオルトリン酸を加え、 $100 \sim 400$ に加熱する。加熱温度が低いとエッチング速度が遅く、高すぎるとマスクに剥がれが生ずる。望ましくは $150 \sim 300$ 、さらに望ましくは $180 \sim 240$ で、十分なエッチング速度とマスクの耐性の両立が得られる。

【0037】

窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の層構造としては、例えば図2に示したような層構造が周知であり、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の層構造もこのような周知の層構造を含め、如何なる層構造とすることができる。図2において、1は基板、2はバッファ層、3はn型半導体層である。n型半導体層は下地層(3c)、n型コンタクト層(3a)およびn型クラッド層(3b)から構成されている。4は発光層、5はp型半導体層である。p型半導体層はp型クラッド層(5b)およびp型コンタクト層(5a)から構成されている。20は正極であり、透光性正極(21)および正極ボンディングパッド(22)から構成されている。30は負極である。

20

【0038】

本発明において、基板1には、サファイア単結晶(Al_2O_3 ; A面、C面、M面、R面)、スピネル単結晶(MgAl_2O_4)、ZnO単結晶、 LiAlO_2 単結晶、 LiGaO_2 単結晶、MgO単結晶または Ga_2O_3 単結晶などの酸化物単結晶基板、およびSi単結晶、SiC単結晶、GaAs単結晶、AlN単結晶、GaN単結晶または ZrB_2 などのホウ化物単結晶などの非酸化物単結晶基板から選ばれた公知の基板材料を何ら制限なく用いることができる。これらの中でもサファイア単結晶またはSiC単結晶が好ましい。また、ジャスト基板でも良いしオフ角を付与した基板であっても良い。

30

【0039】

サファイア単結晶を基板に用いた場合、基板の上に成長させた窒化ガリウム系化合物半導体単結晶は、サファイア単結晶(Al_2O_3 ; A面、C面、M面、R面)に即した方位で結晶成長することが知られている。

【0040】

サファイア単結晶のC面を基板として成長させた窒化ガリウム系化合物半導体単結晶のC面に垂直な面をC軸方向からエッチングする場合、M面以外の面、例えばA面は結晶頂点が露出しており、エッチングされ易く、M面はエッチングされ難い。従って、本発明においては、発光素子の側面の少なくとも一つはM面以外、例えばA面にすることが好ましい。また、発光素子の平面形状が長方形の場合、長辺をM面以外の面、例えばA面にすることが好ましい。

40

【0041】

バッファ層、n型半導体層、発光層およびp型半導体層を構成する窒化ガリウム系化合物半導体としては、一般式 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0 < x + y < 1$) で表わされる各種組成の半導体が公知である。本発明におけるバッファ層、n型半導体層、発光層およびp型半導体層を構成するIII族窒化物半導体においても、一般

50

式 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < x + y < 1$) で表わされる各種組成の半導体を何ら制限なく用いることができる。

【0042】

これらのIII族窒化物半導体を成長する方法としては、有機金属気相成長法(MOCVD法)、分子線エピタキシー成長法(MBE)、ハイドライド気相成長法(HVPE)などがある。望ましくは組成制御が容易であり、量産性を備えたMOCVD法が適しているが、必ずしも同法に限定されるものではない。

【0043】

MOCVD法を上記半導体層の成長方法として採用する場合は、III族であるGaの原料として、有機金属材料であるトリメチルガリウム(TMGa)またはトリエチルガリウム(TEGa)を、同じくIII族のAlの原料として、トリメチルアルミニウム(TMA)またはトリエチルアルミニウム(TEA)を主として用いる。また発光層の構成材料であるInについてはその原料としてトリメチルインジウム(TMI)またはトリエチルインジウム(TEI)を用いる。V族のN源として、アンモニア(NH₃)またはヒドラジン(N₂H₄)などを用いる。

【0044】

n型半導体層にはドーパント材料として、SiあるいはGeを用いる。Si原料としてモノシラン(SiH₄)またはジシラン(Si₂H₆)を、Ge原料としてゲルマン(GeH₄)または有機ゲルマニウム化合物を用いる。p型半導体層では、ドーパントとしてMgを使用する。その原料としては、例えばビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)またはビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム((EtCp)₂Mg)を用いる。

【0045】

上記の基板の上に窒化ガリウム系化合物半導体を積層するために、特許第3026087号公報や特開平4-297023号公報に開示されている低温パフ法や特開2003-243302号公報などに開示されているSeeding Process(SP)法と呼ばれる格子不整合結晶エピタキシャル成長技術を用いることができる。

【0046】

低温パフ法やSP法などの格子不整合結晶エピタキシャル成長技術を用いた場合、その上に積層する下地としての窒化ガリウム系化合物半導体は、アンドープかもしくは5 × 10¹⁷ cm⁻³程度の低ドーブのGaNであることが望ましい。下地層の膜厚は、1 ~ 20 μmであることが望ましく、5 ~ 15 μmであることが更に好適である。

【0047】

下地層の上に負極と接触し、電流を供給するためn型GaNからなるn型コンタクト層を成長させる。n型GaNには1 × 10¹⁸ cm⁻³ ~ 1 × 10¹⁹ cm⁻³になる様にn型ドーパントを供給しながら成長させる。n型ドーパントとしては一般的にはSiやGeが選ばれる。ドーピングに関して一様にドーブする場合や周期的に低ドーブ層と高ドーブ層を繰り返す構造をとる場合がある。特に後者の間歇ドーブでは結晶成長中に発生するピットの抑制に有効である。

【0048】

n型コンタクト層と発光層との間に、n型クラッド層を設けることが好ましい。n型クラッド層は、AlGaIn、GaN、InGaInなどで形成することが可能であるが、InGaInとする場合には活性層のInGaInのバンドギャップよりも大きい組成とすることが望ましいことは言うまでもない。n型クラッド層のキャリア濃度は、n型コンタクト層と同じでも良いし、大きくても小さくても良い。

【0049】

n型クラッド層上の発光層としては量子井戸構造とするのが好適である。井戸層が1つしかない単一量子井戸構造でも良いし、複数の井戸層を有する多重量子井戸構造でも良い。中でも、多重量子井戸構造は、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた素子の構造としては高出力と低駆動電圧を兼ね備えることができるので、好適である。なお、多重量子井戸

10

20

30

40

50

構造の場合、井戸層（活性層）と障壁層を併せた全体を本明細書では発光層と呼ぶ。

【0050】

p型半導体層は通常0.01~1μmの厚さで、発光層に接しているp型クラッド層と正極を形成するためのp型コンタクト層からなる。p型クラッド層とp型コンタクト層は兼ねることができる。p型層は、Ga₂N、AlGa₂Nなどを用いて形成し、pドーパントとしてMgをドーピングする。

【0051】

負極は、各種組成および構造の負極が周知であり、これら周知の負極を何ら制限なく用いることができる。n型コンタクト層と接する負極用のコンタクト材料としては、Al、Ti、Ni、Auなどのほか、Cr、W、Vなどを用いることができる。負極全体を多層構造としてボンディング性を付与することができることは言うまでもない。特に、最表面をAuで覆うことは、ボンディングをしやすいとするためには好ましい。

10

【0052】

正極も、各種組成および構造の正極が周知であり、これら周知の正極を何ら制限なく用いることができる。正極材料としては、Au、Ni、Co、Cu、Pd、Pt、Rh、Os、IrおよびRuなどの金属を用いることができる。また、ITO、NiOおよびCoOなどの透光性の導電性金属酸化物を用いることもできる。透光性の導電性金属酸化物を用いる形態としては、塊として上記金属膜中に含んでも良いし、層状として上記金属膜と重ねて形成しても良い。勿論、透光性の導電性金属酸化物を単独で用いることもできる。これらの中でもITOは透光性に優れ且つ導電性も高いので好ましい。

20

【0053】

正極の厚さは、用いる材料によって異なるが、一般に10~1000nmが好ましい。例えば、ITOの場合は、発光波長を良好に透過させる厚みである100~800nmが好ましく、さらに好ましくは200~500nmである。

【0054】

正極の成膜は真空蒸着法およびスパッタリング法等この技術分野でよく知られた慣用の手段で行なうことができる。また、開口部を設けた形状に成膜するには、この技術分野でよく知られたフォトリソグラフィ技術およびリフトオフ技術を用いて行なうことができる。正極を形成した後に、合金化や透明化を目的とした熱アニールを施す場合もあるが、施さなくても構わない。

30

【0055】

正極には通常電流を流すためのワイヤを接続するボンディングパッド部が設けられる。ボンディングパッド部は、Au、Al、Ni、TiおよびCu等の材料を用いた各種構造が周知であり、これら周知の材料および構造のものを何ら制限無く用いることができる。また、厚さは100~1500nmが好ましい。ボンディングパッドの特性上厚いほうがボンダビリティが高くなるため、300nm以上が好ましい。さらに、製造コストの観点から1000nm以下が好ましい。

【0056】

発光素子の形態としては、透明正極を用いて半導体側から発光を取り出す、いわゆるフェイスアップ(FU)型としても良いし、反射型の正極を用いて基板側から発光を取り出す、いわゆるフリップチップ(FC)型としても良い。

40

【0057】

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、例えば当業界周知の手段により透明カバーを設けてランプにすることができる。また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子と蛍光体を有するカバーを組み合わせて白色のランプを作製することもできる。

【0058】

また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子から作製したランプは発光出力が高く、配光均一性に優れているので、この技術によって作製したランプを組み込んだ携帯電話、ディスプレイ、パネル類などの電子機器や、その電子機器を組み込んだ自動車、コンピュータ、ゲーム機、などの機械装置類は高い特性を実現することが可能である。特に

50

、携帯電話、ゲーム機、玩具、自動車部品などの、バッテリー駆動させる機器類において、高い特性を発揮する。

【実施例】

【0059】

以下に実施例および比較例により本発明を詳細に説明するが、本発明はこの実施例のみに限定されるものではない。

【0060】

(実施例)

本実施例で作製した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の断面模式図を図3に示す。

窒化ガリウム系化合物半導体の積層構造体は、サファイアのc面((0001)結晶面)からなる基板1上に、AlNからなるバッファ層2を介して順次、アンドープGaN層(層厚=8μm)からなる下地層、Siドープn型GaN層(層厚=2μm、キャリア濃度=1×10¹⁹cm⁻³)からなるnコンタクト層およびSiドープn型Al_{0.07}Ga_{0.93}N層(層厚=25nm、キャリア濃度=1×10¹⁸cm⁻³)からなるnクラッド層から構成されたn型半導体層3、6層のSiドープGaN障壁層(層厚=14.0nm、キャリア濃度=1×10¹⁸cm⁻³)と5層のアンドープIn_{0.20}Ga_{0.80}Nの井戸層(層厚=2.5nm)を交互に積層させた多重量子構造の発光層4、Mgドープp型Al_{0.07}Ga_{0.93}N層(層厚=10nm)からなるpクラッド層およびMgドープAl_{0.02}Ga_{0.98}N層(層厚=150nm)からなるpコンタクト層から構成されたp型半導体層5を積層して構成した。上記の積層構造体の各構成層は、一般的な減圧MOCVD手段で成長させた。

【0061】

特に、MgドープAlGaNからなるpコンタクト層は以下の手順に依り成長させた。

(1) MgドープのAl_{0.07}Ga_{0.93}N層からなるpクラッド層の成長を終了した後、成長反応炉内の圧力を2×10⁴パスカル(Pa)とした。キャリアガスは水素を用いた。

(2) トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびアンモニアを原料とし、ビスシクロペンタジエニルマグネシウムをMgのドーピング源として、1020でMgドープAlGaN層の気相成長を開始した。

(3) トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、アンモニアおよびビスシクロペンタジエニルマグネシウムを、成長反応炉内へ4分間に亘り継続して供給して、層厚を150nmとするMgドープAl_{0.02}Ga_{0.98}N層を成長させた。

(4) トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびビスシクロペンタジエニルマグネシウムの成長反応炉内への供給を停止し、MgドープAl_{0.02}Ga_{0.98}N層の成長を停止した。

【0062】

MgドープAlGaN層からなるコンタクト層の気相成長を終了させた後、直ちにキャリアガスを水素から窒素へと切り替え、アンモニアの流量を低下させ、そして低下させた分だけキャリアガスの窒素の流量を増加した。具体的には、成長中には全流通ガス量のうち体積にして50%を占めていたアンモニアを、0.2%まで下げた。同時に、基板を加熱するために利用していた、高周波誘導加熱式ヒータへの通電を停止した。

【0063】

更に、この状態で2分間保持した後、アンモニアの流通を停止した。このとき、基板の温度は850であった。

この状態で室温まで冷却後、成長反応炉より積層構造体を取り出し、MgドープAlGaN層からなるpコンタクト層のマグネシウム及び水素の原子濃度を一般的なSIMS分析法で定量した。Mg原子は、7×10¹⁹cm⁻³の濃度で、表面から深さ方向に略一定の濃度で分布していた。一方、水素原子は、6×10¹⁹cm⁻³の略一定の濃度で存在していた。また、抵抗率は、一般的なTLM法による測定から、おおよそ150cmと見積もられた。

【0064】

10

20

30

40

50

上記の積層構造体を用いてLEDを作製した。

先ず、順テーパ面12を形成する為、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、個々の素子に分割する割溝部が露出するようにレジストにてパターニングを実施した。その後、レジストが塗布されていない露出した割溝部にRIE型のドライエッチングにて深さ1.2 μm程度の側面が垂直の割溝を形成した。その後、レジストは溶剤にて除去洗浄した。

【0065】

次に、割溝の垂直側面を順テーパ側面にする為、オルトリン酸を主成分とするエッチング剤で処理した。この処理により、c面((0001)結晶面)はエッチングされず、A面((11-20)結晶面)がエッチングされ、割溝側面の角度は基板主面に対して大凡110°であった。直交するM面を側面とする割溝の側面は垂直面が保たれたままであった。

10

【0066】

次に、公知のフォトリソグラフィ技術及びリフトオフ技術を用いて、p型AlGaInコンタクト層上のみならずITOからなる透光性正極21が形成される様にパターニングし、公知スパッタ法にて厚さ250 nmのITO電極を形成した。

【0067】

次に、nコンタクト層を露呈させる為、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、n層を露呈させる領域(負極30を形成する領域)以外はレジストにて覆われるパターンを作製し、ドライエッチング装置にて一般的なRIEエッチングにより、nコンタクト層を露呈させた。その後覆っていたレジストを溶剤にて除去し、p型半導体層表面から露出したnコンタクト層までの深さを測定したところ大凡0.7 μmであった。

20

【0068】

次に、露出したnコンタクト層上の負極を形成する領域に負極30を以下の手順により形成した。

レジストを全面に様に塗布した後、公知リソグラフィ技術を用いて、露出したnコンタクト層上の負極形成部分からレジストを除去して、通常用いられる真空蒸着法で半導体側から順にTiが100 nm、Auが200 nmよりなる負極30を蒸着形成した。その後レジストを公知の方法でその上に形成されたTiおよびAuと共に除去した。

【0069】

次に正極ボンディングパッド22をITOからなる透光性正極21上に形成するため、負極と同様の方法でパターニングし、接着層としてCrを40 nm形成し、その後Tiを100 nm形成し、最上層としてAuを1000 nm形成して正極ボンディングパッド22とした。

30

図4は、本実施例で作製した発光素子の平面模式図であり、以上の工程で作製した電極の位置関係を示した図である。

次に、逆テーパ面11の作製手順を説明する。電極作製工程が終了したウェハにリソグラフに用いたフォトリソレジストを塗布する。その後、再度リソグラフにより各素子の境界部分(割溝部)のみを露出させる。

【0070】

次に、素子の境界部分(割溝部)の半導体を除去して基板を露出させるが、窒化ガリウム系化合物半導体層を基板に達するまで除去する手段としてはレーザーを用いた。レーザーの波長は266 nm、周波数は50 kHz、出力は1.6 Wで加工スピード70 mm/秒で基板に深さ20 μmに達する割溝を作製した。ステージを90°回転させ、Y軸方向に同様にして割溝を形成した。

40

【0071】

割溝作製後のウェハを、加熱装置を用いて180℃に熱したオルトリン酸の入った石英ピーカー中に20分間浸漬してウェットエッチングを行なった。窒化ガリウム系化合物半導体層のエッチング量は5.2 μmであった。ウェットエッチングの終了したウェハは超音波中で水洗を行い、更に有機洗浄によりレジストからなるエッチングマスクの除去を行なった。この処理により、c面((0001)結晶面)方向はエッチングされず、A面(

50

(11 - 20) 結晶面) 方向がエッチングされ、割溝側面の角度は基板主面に対して大凡70°であった。直交するM面を側面とする割溝の側面は垂直面が保たれたままであった。

エッチング処理後のウェハはさらに基板背面の研磨により、基板の厚さが80μmになるまで薄くし、その後ブレーキング装置により個々の発光素子として分離した。

【0072】

分離した発光素子の出力を積分球で評価したところ、電流20mAで12mWであった。また駆動電圧を測定したところ、20mA印加した場合の電圧は3.35Vであった。この素子の配光性を評価した結果を後述の比較例と共に図5に示す。図5において、横軸は発光素子正面からの角度であり(正面が90°)であり、縦軸はその角度における光の強度である。図5から明らかな如く、本実施例の発光素子は比較例の発光素子に比較して側面方向の光取り出しが上昇し、配光均一性に優れている。また、パッケージ側面と発光素子との間隔を狭めた特殊発光パッケージに装着して出力を測定したところ、電流20mAで18.9mWであった。

10

【0073】

(比較例)

順テーパ12を形成しなかったことを除いて、実施例と同じ手順で発光素子を作製した。得られた発光素子を実施例と同様に評価したところ、出力は12mWあり、その駆動電圧は3.35Vであった。また、その配光特性を図5に示したが、実施例の順テーパ形成品に比較して斜め方向の光取り出し特性が劣っている物であった。さらに、実施例で用いたものと同じ特殊発光パッケージに装着して出力を測定したところ、電流20mAで16.8mWであり、順テーパを形成した場合に比較してパッケージ実装段階での効率が劣る結果となった。

20

【産業上の利用可能性】

【0074】

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、発光出力が高く、かつ、配光均一性に優れており、産業上の利用価値は極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の一例を模式的に示した断面図である。

30

【図2】窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の一般的な層構造を模式的に示した図である。

【図3】実施例で作製した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の断面を示した模式図である。

【図4】実施例で作製した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の平面を示した模式図である。

【図5】実施例および比較例で作製した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の配光性の評価結果を示した図である。

【符号の説明】

40

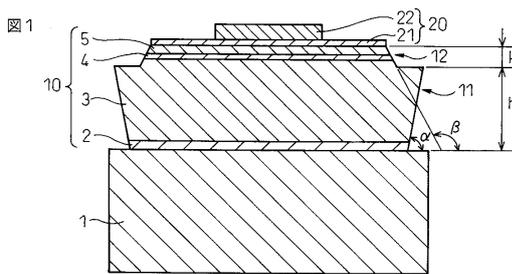
【0076】

- 1 基板
- 2 バッファ層
- 3 n型半導体層
- 4 発光層
- 5 p型半導体層
- 10 窒化ガリウム系化合物半導体
- 11 逆テーパ側面
- 12 順テーパ側面
- 20 正極

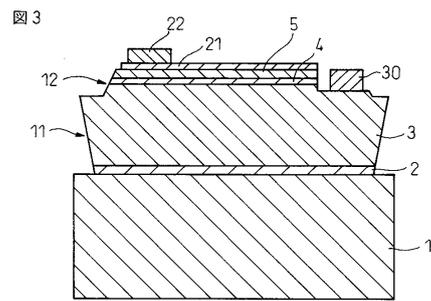
50

- 2 1 透光性正極
- 2 2 正極ボンディングパッド
- 3 0 負極

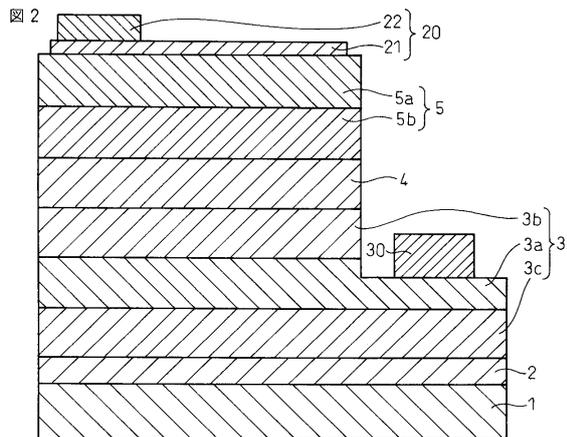
【図1】



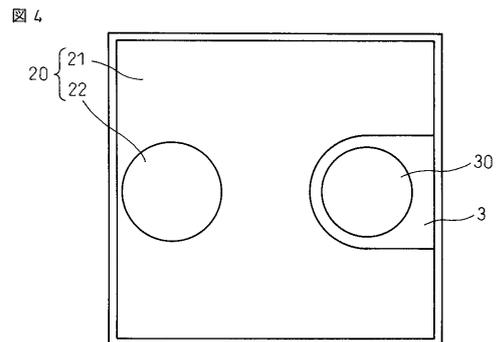
【図3】



【図2】

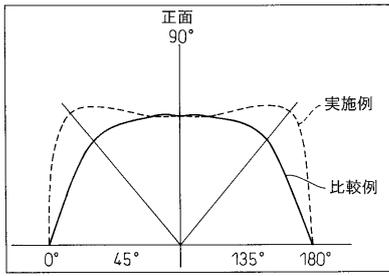


【図4】



【 図 5 】

図 5



フロントページの続き

(72)発明者 福永 修大
千葉県市原市八幡海岸通5 - 1 昭和電工株式会社内

審査官 土屋 知久

(56)参考文献 特開2005 - 276900 (JP, A)
特開平09 - 107123 (JP, A)
特開平10 - 200156 (JP, A)
特開平07 - 131066 (JP, A)
特開2006 - 253670 (JP, A)
特開2005 - 150675 (JP, A)
特開2001 - 284650 (JP, A)

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