

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6701385号
(P6701385)

(45) 発行日 令和2年5月27日 (2020.5.27)

(24) 登録日 令和2年5月8日 (2020.5.8)

(51) Int. Cl.	F I	
H O 1 L 33/02 (2010.01)	H O 1 L 33/02	
H O 1 L 33/32 (2010.01)	H O 1 L 33/32	
H O 1 L 33/08 (2010.01)	H O 1 L 33/08	
H O 1 L 21/28 (2006.01)	H O 1 L 21/28	3 O 1 B
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/28	3 O 1 R
請求項の数 14 (全 18 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2018-560942 (P2018-560942)	(73) 特許権者	500507009
(86) (22) 出願日	平成29年5月19日 (2017.5.19)		ルミレッズ リミテッド ライアビリティ
(65) 公表番号	特表2019-522356 (P2019-522356A)		カンパニー
(43) 公表日	令和1年8月8日 (2019.8.8)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/033466		131 サン ホセ ウェスト トリンブ
(87) 国際公開番号	W02017/201363		ル ロード 370
(87) 国際公開日	平成29年11月23日 (2017.11.23)	(74) 代理人	100107766
審査請求日	平成31年1月11日 (2019.1.11)		弁理士 伊東 忠重
(31) 優先権主張番号	62/339,412	(74) 代理人	100070150
(32) 優先日	平成28年5月20日 (2016.5.20)		弁理士 伊東 忠彦
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100091214
(31) 優先権主張番号	16179434.2		弁理士 大貫 進介
(32) 優先日	平成28年7月14日 (2016.7.14)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光デバイスにおいて層を成長させるためにリモートプラズマ化学気相堆積およびスパッタリング堆積を使用するための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発光デバイスを成長させるための方法であって、

有機金属化学気相成長法 (MOCVD) を使用して、成長基板上に発光デバイス構造体を成長させるステップであり、該発光デバイス構造体は、n型領域、発光領域、およびp型領域を含んでいる、ステップと、

リモートプラズマ化学気相堆積 (RPCVD) とスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用して、前記発光デバイス構造体上にトンネル接合に係る水素フリー層の少なくとも一部分を成長させるステップと、

を含む、

前記発光デバイス構造体を成長させるステップは、さらに、

有機金属化学気相成長法 (MOCVD) によって、前記n型領域、前記発光領域、および前記p型領域の第1部分を成長させるステップと、

前記n型領域、前記発光領域、および前記p型領域の前記第1部分をアニールするステップと、

を含む、方法。

【請求項2】

トンネル接合に係る水素フリー層の少なくとも一部分を成長させる前記ステップは、

p++層を前記p型領域と直接接触させるステップであり、該p++層は、前記p型領域よりも強くドーピングされている、ステップと、

n++層を前記p++層と接触させるステップであり、前記トンネル接合に係る前記層の少なくとも一部分は、前記p++層である、ステップと、

を含み、

前記発光デバイス構造体および前記トンネル接合は、III族窒化物材料でできている、

請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記発光デバイス構造体を成長させるステップは、さらに、

前記アニールの後で、RP-CVDとスパッタリング堆積のうち少なくとも1つによって、前記p型領域の水素フリーの第2部分を成長させるステップ、

を含む、請求項1に記載の方法。

10

【請求項4】

前記発光デバイス構造体を成長させるステップは、

MOCVDによって、前記n型領域、前記発光領域、および前記p型領域を成長させるステップと、

前記n型領域、前記III族窒化物の発光領域、および前記p型領域をアニールするステップと、を含み、

トンネル接合に係る前記層の少なくとも一部分を成長させる前記ステップは、さらに、

前記アニールの後で、前記p型領域上の前記p++層を成長させるステップと、

を含む、請求項2に記載の方法。

20

【請求項5】

前記方法は、さらに、

前記n型領域と直接接触する第1金属コンタクト、および、n型コンタクト層と直接接触する第2金属コンタクトを形成するステップ、

を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記方法は、さらに、

前記トンネル接合上に別の発光デバイス構造体を成長させるステップ、

を含む、請求項5に記載の方法。

【請求項7】

前記トンネル接合は、さらに、

前記p++層と前記n++層との間に配置された追加層を含み、かつ、

該追加層は、前記p++層または前記n++層のいずれかと異なる組成である、

請求項2に記載の方法。

30

【請求項8】

デバイスを成長させるための方法であって、

リモートプラズマ化学気相堆積(RP-CVD)とスパッタリング堆積のうち少なくとも1つによって、成長基板上に水素フリーIII族窒化物のp型領域を成長させるステップと、

前記III族窒化物のp型領域上にIII族窒化物の発光領域を成長させるステップと

40

、有機金属化学気相成長法(MOCVD)を使用して、前記発光領域上にIII族窒化物のn型領域を成長させるステップと、

を含む、

方法。

【請求項9】

前記方法は、さらに、

前記成長基板の非III族窒化物材料上にGaNフィルムを配置するステップと、

有機金属化学気相成長法(MOCVD)によって、前記GaNフィルムを成長させるステップと、を含む、

50

請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 0】

前記方法は、さらに、

前記成長基板の非 I I I 族窒化物材料上に G a N フィルムを配置するステップと、
R P - C V D とスパッタリング堆積のうち少なくとも 1 つによって、前記 G a N フィルムを成長させるステップと、を含む、

請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記 I I I 族窒化物の p 型領域上に発光領域を成長させるステップは、

R P - C V D とスパッタリング堆積のうち少なくとも 1 つによって、前記発光領域の水素フリーの第 1 部分を成長させるステップと、

M O C V D によって、前記発光領域の第 2 部分を成長させるステップと、

を含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記 I I I 族窒化物の p 型領域上に発光領域を成長させるステップは、

R P - C V D とスパッタリング堆積のうち少なくとも 1 つによって、前記 I I I 族窒化物の発光領域を成長させるステップ、を含む、

請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 3】

デバイスを成長させるための方法であって、

成長基板上に p 型領域を成長させるステップと、

前記 p 型領域上に、R P - C V D とスパッタリング堆積のうち少なくとも 1 つによって、発光領域を成長させるステップと、

前記発光領域上に、R P - C V D とスパッタリング堆積のうち少なくとも 1 つによって、n 型領域を成長させるステップと、

を含み、さらに、

M O C V D による前記 p 型領域の成長の後で、前記 p 型領域をアニールするステップ、を含む、

方法。

【請求項 1 4】

前記 p 型領域、前記発光領域、および前記 n 型領域は、I I I 族窒化物材料でできている、

請求項 1 3 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本特許出願は、発光デバイスに関する。

【0 0 0 2】

関連出願への相互参照

本特許出願は、2 0 1 6 年 5 月 2 0 日付の米国仮特許出願第 6 2 / 3 3 9 4 1 2 号および 2 0 1 6 年 7 月 1 4 日付の欧州特許出願第 1 6 1 7 9 4 3 4 . 2 号に基づく優先権を主張するものである。これらのコンテンツは、これにより、その全体が明らかにされるかのように、参照により、ここにおいて包含されている。

【背景技術】

【0 0 0 3】

発光ダイオード (L E D) 、共振空洞発光ダイオード (R C L E D) 、垂直共振器型面発光レーザ (V C S E L) 、および端面発光レーザを含む半導体発光デバイスは、現在利用可能な最も効率的な光源のうち 1 つである。可視スペクトルにわたり動作可能な高輝度発光デバイスの製造において現在関心の材料系は、III-V 族半導体を含んでいる。特には、ガリウム、アルミニウム、インジウム、および窒素の二元、三元、および四元合金を含

10

20

30

40

50

んでおり、III族窒化物材料としても参照されている。

【0004】

典型的には、III族窒化物発光デバイスは、有機金属化学気相成長法 (metal-organic chemical vapor deposition、MOCVD)、分子線エピタキシー (MBE)、または他のエピタキシャル技術によって、サファイア、炭化ケイ素 (silicon carbide)、III族窒化物、または他の適切な基板上に異なる組成およびドーパント濃度の半導体層のスタックをエピタキシャル成長させることによって製造される。スタックは、しばしば、基板上に形成されている、例えばSiを用いてドーパされた1つまたはそれ以上のn型層、n型層の上に形成されている活性領域における1つまたはそれ以上の発光層、および、活性領域の上に形成されている、例えばMgを用いてドーパされた1つまたはそれ以上のp型層を含んでいる。電気コンタクトが、n型およびp型領域上に形成されている。

10

【0005】

市販のIII族窒化物LEDにおいて、半導体構造体は、典型的にMOCVDによって成長させられる。MOCVDの最中に使用される窒素源は、典型的にはアンモニアである。アンモニアが解離すると、水素が生成される。水素は、マグネシウムと錯体 (complex) を形成する。p型材料の成長の最中にp型ドーパントとして使用されるものである。水素錯体は、マグネシウムのp型特性を非活性化させ、p型材料のドーパント濃度を効果的に低下させており、デバイスの効率を低下させる。p型材料の成長の後で、水素を追い出すこと (driving off) によって水素-マグネシウム錯体を破壊するために構造体がアニールされる。

20

【発明の概要】

【0006】

ここにおいて説明されるのは、発光デバイスについて層を成長させるためにリモートプラズマ化学気相堆積 (RPCVD) およびスパッタリング堆積を使用するための方法である。方法は、成長基板上に発光デバイス構造体を成長させるステップ、および、RPCVDとスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用して発光デバイス構造体上にトンネル接合を成長させるステップを含む。発光デバイス構造体は、n型領域、発光領域、およびp型領域を含む。トンネル接合は、p型領域と直接接触するp++層、および、p++層と直接接触するn++層を含む。ここで、p++層は、RPCVDとスパッタリング堆積の少なくとも1つを使用することによって成長する。デバイスを成長させるための別の方法は、RPCVDとスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用して成長基板上にp型領域を成長させるステップ、p型領域上に発光領域を成長させるステップ、および、発光領域上にn型領域を成長させるステップを含む。ここで、p型領域、発光領域、およびn型領域は、III族窒化物材料から作られている。デバイスを成長させるための別の方法は、成長基板上にp型領域を成長させるステップ、p型領域上に発光領域を成長させるステップ、および、発光領域上にn型領域を成長させるステップを含む。ここで、発光領域とn型領域のうち少なくとも1つは、RPCVDとスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用することによって成長する。

30

【図面の簡単な説明】

【0007】

40

添付の図面と併せて例として与えられる、以下の説明から、より詳細な理解が得られるだろう。

【図1】図1は、窒素源としてアンモニアを使用して、デバイスのための層を成長させるステップについての説明図である。

【図2】図2は、アンモニア環境において、デバイスを成長させるステップについての説明図である。

【図3】図3は、デバイスにおいてアニールされたp型層を示している説明図である。

【図4】図4は、RPCVDとスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用して、デバイスを成長させるステップについての説明図である。

【図5】図5は、所定の実施形態に従った、一つの例示的な発光ダイオード (LED) で

50

ある。

【図6】図6は、R P-C V Dとスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用して、図5のL E Dを成長させるステップについての例示的なフローチャートである。

【図7】図7は、所定の実施形態に従った、一つの例示的なトンネル接合型L E Dである。

【図8】図8は、所定の実施形態に従った、図7のトンネル接合型L E Dを製造するための一つの例示的な方法である。

【図9】図9は、所定の実施形態に従った、別の例示的なトンネル接合型L E Dである。

【図10】図10は、所定の実施形態に従った、図9のトンネル接合型L E Dを製造するための一つの例示的な方法である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

発光デバイスにおいて層(layers)を成長させるために、リモートプラズマ化学気相堆積(R P-C V D)とスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用するための方法についての図および説明は、明確な理解のために適切なエレメントを説明するように簡略化されており、一方で、明確化の目的のために、典型的なデバイス処理において見られる他の多くのエレメントを省略していることが理解されるべきである。当業者であれば、他のエレメント及び／又はステップが、本発明の実施において望ましく、かつ／あるいは、必要であることを認識するだろう。しかしながら、そのようなエレメントおよびステップは、当該技術分野において周知であり、そして、それらは本発明のより良い理解を促進しないので、そうしたエレメントおよびステップの説明は、ここにおいて提供されない。

【0009】

従来のIII族窒化物発光ダイオード(L E D)においては、n型領域が最初に基板上で成長し、活性領域(または発光領域)およびp型領域がそれに続く。ここにおいてで 사용되는ように、領域(region)という用語は、特定された領域の少なくとも1つの層を参照し、例えば、n型領域は1つまたはそれ以上のn型層を含むことができる。III族窒化物L E D成長n型サイドダウンデバイス(grown n-side down device)の内部電界(internal field)は、順方向(forward)バイアスを増加させることによって増加する。結果として、デバイスバイアス(電流)が増加すると、内部電界が増加し、正孔(electron-hole)のオーバーラップが減少し、それによって、放射効率が減少している。p型領域を基板上に最初に成長させて、デバイス(例えばL E D)を逆の順序で成長させることは、内部電界を反転させる。III族窒化物L E D成長n型サイドダウンデバイスにおいて、内部電界は、ビルトイン(built-in)された分極電界(polarization field)の反対である。結果として、順方向バイアス(電流)が増加すると、そうしたデバイスの放射効率が増加し得る。

【0010】

しかしながら、III族窒化物L E D成長n型サイドダウンデバイスのデザインは、p型層活性化のための水素フリー(hydrogen-free)雰囲気におけるアニールの要求によって制限されている。このことは、図1-図3を参照して説明される。図1は、窒素源としてアンモニア(NH_3)を使用して成長させたデバイス100を示しており、p型領域(p G a N層として示されている)へのNおよびHの取り込み(incorporation)が結果として生じている。図2は、デバイス100のp G a N層における水素の存在を示しており、これはマグネシウム(M g)ドーパントを活性化するために水素フリー雰囲気のアニールングプロセスを使用して除去する必要がある。図3は、アニールされたデバイスを示しており、ここでは水素がp G a N層から外へ拡散している。M gは、今や、電気的に活性であり、かつ、アクセプタ型(acceptor-type)ドーパントとして機能する。例えば、窒素源ベースの成長プロセスは、有機金属化学気相成長法(M O C V D)であり得る。典型的なM O C V Dにおいては、窒素源としてアンモニアが使用され、成長温度において、水素ラジカル(hydrogen radicals)と窒素の活性形(active forms of nitrogen)へと分解する。使用されるキャリアガスが窒素であっても、成長の最中に、アンモニア分解が

10

20

30

40

50

らの水素は、Mgと錯体を形成するだろう。

【0011】

III族窒化物LED成長n型サイドダウンデバイスにおいては、p型領域が最初に基板上に成長し、活性領域、次いで、n型領域が続く。その結果として、p型領域が埋め込まれる(buried)。水素はn型III族窒化物材料を通して拡散できないこと、および、水素は長距離にわたり横方向には容易に拡散しないことが、実験的に実証されてきている。アニールを効果的にするために、p型層は、あらゆる他の層によってカバーされることはできない。効果的なアニールがなければ、デバイスは、p型層なし、または、極端に低い正孔濃度を有するp型層を伴うままであり、役に立たないものになっている。

【0012】

上記の問題は、また、トンネル接合(tunnel junction)を含むIII族窒化物デバイスにおいても存在する。トンネル接合は、電子が、逆バイアス(reverse bias)において、p型層の価電子帯(valence band)からn型層の伝導帯(conduction band)までトンネル(tunnel)できるようにする構造である。電子がトンネルすると、p型層の後ろに正孔が残る、そうして、両方の層においてキャリア(carriers)が生成される。従って、ダイオードのような電子機器、逆バイアスでわずかな漏れ電流しか流れないもの、においては、逆バイアスでトンネル接合を横切って大きな電流を流すことができる。トンネル接合は、p/nトンネル接合において伝導帯と価電子帯との格別な整列(alignment)を必要とし、典型的には、非常に高いドーピングを使用する他の材料系(例えば(Al)GaAs材料系におけるp++/n++接合)において達成されてきている。III族窒化物材料は、異なる合金組成間のヘテロ界面(heterointerfaces)において電界を生成する固有の分極化(inherent polarization)を有している。この分極場は、トンネリングのために要求されるバンド整列を達成するために、利用することができる。

【0013】

上述のように、トンネル接合により、電流は、逆バイアスされたp-n接合を通過することができる。そうでなければ整流している(rectifying)。このことは、n型層を使用する可能性を創出する。n型層は、LEDの正および負端子の両方に対するコンタクトとして、p型層よりもはるかに良好なシート抵抗、従って、電流拡散を有する。トンネル接合を介してp型層からの正孔をn型層における電子へと変換することによるものである。それにより、また、2つまたはそれ以上のを互いの上面に成長させ、そして、トンネル接合を介して直列に接続することもできる。このことは、単一のLEDのフットプリントの中に複数のLEDを作成し、単位面積あたりに生成される光束(optical flux)を劇的に増加させている。

【0014】

単位面積当たりの高光束を可能にすることに加えて、トンネル接合は、効率の衰え(drop)を克服するために使用することができる。トンネル接合によって接続されたLEDをより低い駆動電流で駆動することによって、各LEDはそのピーク効率において動作することができる。通常、このことは、光出力における低下を結果として生じるだろう。しかしながら、所与のチップ領域において直列に接続された2つまたはそれ以上のLEDを有することによって、光出力を維持することができ、一方で、効率が劇的に改善される。従って、すべてのマーケットは、トンネル接合型LEDによって対処することができる。高効率を必要とするもの、および、単位面積当たりの高い光束を必要とするものである。

【0015】

III族窒化物LEDにおいてトンネル接合を作成することにおける重要な制限要因は、pGaN層の活性化である。トンネル接合型LEDの場合、全体のデバイス構造体が成長するにつれて、pGaN層は、埋め込まれるか、または、他の層によってカバーされる。デザインにより、pGaN層の上面にn型層が存在し、その間にはトンネル接合を伴っている。pGaN層がMOCVDによって成長すると、リアクタ(reactor)内の水素がGaN層においてMg(p型ドーパント)との化学錯体を形成し、それがMgを電気的に不活性にする。Mgをp型ドーパントとして機能させるためには、成長後の活性化アニール

10

20

30

40

50

が、水素フリー雰囲気 (hydrogen-free ambient) において必要とされ、ここで水素は結晶から外へ拡散する。しかしながら、上述のように、水素は、n 型 GaN 層を通して拡散することができない。従って、トンネル接合型 LED が成長し、かつ、p GaN 層が n 型 GaN 層でカバーされる場合には、水素が結晶から出ることができないので、活性化アニールを進めることができない。このことは、デバイスを p 型層なし、または、極めて低い活性化を伴うままにして、役に立たないものにしてしまう。このこと、分子線エピタキシー (MBE) を使用して p 型層を成長させることによって以前に克服されている。MBE は、遅くて高価であり、そして、典型的には商業的な III 族窒化物 LED 製造においては使用されていない。

【0016】

従って、トンネル接合を有するデバイス、または、n 型層の前に p 型層を成長させるデバイス、といった埋め込まれた p 型層を有するデバイスは、窒素源としてアンモニアを用いる MOCVD によって、従来的には成長することができない。

【0017】

ここにおいて説明されるのは、発光デバイスについて層を成長させるために、RP-CVD とスパッタリング堆積のうち少なくとも 1 つを使用するための方法である。一般的に、RP-CVD およびスパッタリング堆積は、成長プロセスの最中に水素またはアンモニアを使用しない。すなわち、層は、水素含有窒素前駆体 (hydrogen-bearing nitrogen precursor) なしで成長する。特に、p GaN 層及び／又はトンネル接合材料を成長させるために、RP-CVD およびスパッタリング堆積を使用することができ、水素が p GaN 層に進入するのを防ぎ、かつ、いくつかの実装において成長後の p GaN 層の活性化の必要性を排除することができる。

【0018】

一般的に、RP-CVD およびスパッタリング堆積は、窒素源 (nitrogen source) として窒素プラズマを使用すること、または、いくつかのスパッタリング堆積のインスタンスにおいては GaN 源ターゲット (GaN source target) を使用することによって III-窒化物を成長させるために、水素フリー雰囲気の使用を可能にする。そして、p GaN 層は、次いで、後続の活性化ステップを必要としないであろう。トンネル接合および後続の n GaN 層の最初の部分の成長もまた、RP-CVD 及び／又はスパッタリング堆積によって実施することができる。p GaN 層が露出されている間にリアクタの中へ水素が導入されると、水素が p GaN 層の中へ拡散すること、および、Mg と再び錯化すること (complexing) を結果として生じるからである。同様に、p 型サイドダウンデバイス (p-type side down device) について、p GaN 層が MOCVD によって最初に成長し、次いで、RP-CVD またはスパッタリング堆積システムにおいてそのままアニールされ、p GaN 層、および、活性領域の前に RP-CVD 及び／又はスパッタリング堆積によって成長した意図せずにドーパされたセットバック層が続く。活性化アニールは、例えば、RP-CVD リアクタのリモートプラズマ源を使用して生成した活性窒素の過剰圧力 (overpressure) を用いて実施することができる。活性領域は、RP-CVD 及び／又はスパッタリング堆積によって、または、p GaN の中への水素拡散が著しくない場合には MOCVD によって成長させることができる。

【0019】

図 4 は、デバイス 400 について III 族窒化物を成長させるために、RP-CVD 及び／又はスパッタリング堆積を使用している説明図である。窒素ガス源、N₂、は、結晶からの窒素の脱離 (desorption) を、付随する水素を伴わずに、防ぐように N 原子の過剰圧力を提供するために使用される。示されるように、p GaN 層において水素原子は存在していない。

【0020】

図 5 は、デバイス 500 の例示的な半導体構造体 505 である。ここでは、図 6 のフロント 600 に示されるように、p 型領域 510 が、発光領域 515 および n 型領域 520 の前に成長する。そうした半導体構造体は、任意の適切な装置の中へ組み込まれてよく、

10

20

30

40

50

そして、実施形態は図示された装置に限定されない。図示された垂直デバイス (vertical device) に対する代替物としての適切なデバイスの例は、以下のものを含む。フリップチップデバイス、成長基板が除去されたもの、および、横向きダイ (lateral die)、成長基板が残り、かつ、金属コンタクトが第1成長ドープ層の上に配置されており、例えばドライエッチング、によって露出されているもの。

【0021】

デバイス500は、成長基板 (図示なし) 上に成長した半導体構造体505を含んでいる。半導体構造体505は、最初にp型領域510を成長させ (605)、続いて少なくとも1つの発光層を含む活性または発光領域515 (610)、続いてn型領域520を成長させること (615) によって形成される。金属pコンタクト525がp型領域510上に配置されており、かつ、金属nコンタクト530がn型領域520上に配置されている。n型領域520は、異なる組成およびドーパント濃度の複数の層を含んでよく、例えば、効率的に光を放射するために発光領域515について望ましい特定の光学的、材料的、または電気的特性のためにデザインされたn型層、またはp型層さえ含んでいる。発光領域515は、単一の厚い又は薄い発光層、もしくは、例えば、障壁層によって分離された複数の薄い又は厚い発光層を含んでいる多重量子井戸 (multiple quantum well) 発光領域を含むことができる。p型領域510は、バッファ層または核形成層 (nucleation layer) といった準備層、及び／又は、成長基板の除去を促進するようにデザインされた層、p型、n型、または意図的にドーパされていないものであり得るもの、および、異なる組成、厚さ、およびドーパント濃度の複数の層、例えば、p型であり、意図的にドーパされていない、またはn型の層を含んでいるもの、を含むことができる。

【0022】

上述のように、図6は、デバイス500のための半導体構造体505を形成する方法を示している。一つの実施形態において、p型領域510は、RP-CVD及び／又はスパッタリング堆積を使用することによって成長基板上で最初に成長する (605)。発光領域515が、次いで、p型領域510上で成長する (610)。一つの実施形態において、発光領域515は、少なくとも成長の最初の部分 (例えば、少なくとも最初の数ナノメートル、といったところ) において、初期成長 (earlier grown) p型領域505が水素に曝されないように、RP-CVD及び／又はスパッタリング堆積によって成長する。半導体構造体505を形成するために、n型領域520をp型領域510および発光領域515上に成長させる (615)。

【0023】

いくつかの実施形態において、成長基板は、炭化ケイ素 (SiC) またはサファイアといった非III族窒化物基板および初期 (initial) III族窒化物構造体を含んでいる。初期II族窒化物構造体は、例えば、III族窒化物核生成層及び／又はバッファ層、および、その上に半導体構造体515を成長させ得る薄いGaN膜を含むことができる。初期III族窒化物構造体は、例えばMOCVDによって、非III族窒化物基板上で成長し得る。いくつかの実施形態において、成長基板は、例えば、MOCVD、ハイドライド気相成長 (HVPE)、液相エピタキシャル成長 (LPE)、アモノサーマル (ammonothermal)、または、あらゆる他の任意の適切な技術によって形成された、事前形成の (pre-formed) GaNテンプレートである。

【0024】

図5および図6をまとめて参照すると、p型領域510は、例えば、MOCVDによって成長し、それに続いて、RP-CVD及び／又はスパッタリング堆積チャンバの中で実行される活性化アニールによって成長し得る。一つの実施形態においては、活性化アニールの後で、水素の再導入 (reintroduction) を防ぐようにp型領域510をキャップ (cap) するために、n型領域を用いたRP-CVD及び／又はスパッタリング堆積によって後続く成長が実行される。発光領域515およびn型領域520は、例えば、RP-CVD、スパッタリング堆積、またはMOCVDによって成長させることができる。

【0025】

10

20

30

40

50

一つの実施形態において、アニールされたp型領域上での初期成長（例えば、材料の最初の2ナノメートル（nm）から100nmまで）は、水素の再導入を防ぐようにp型領域510をキャップするために、n型領域を用いたRP-CVD及び／又はスパッタリング堆積によって実行される。p型領域510がキャップされた後で、成長は、MOCVDまたは他の成長技術へ切り替えられ得る。

【0026】

一つの実施形態において、p型領域510、発光領域515、およびn型領域520は、RP-CVD及び／又はスパッタリング堆積によって成長させ得る。

【0027】

一般的に、水素フリーのp型領域が、RP-CVDまたはスパッタリング堆積、あるいは、アニーリングが後に続くMOCVDによって一旦形成されると、水素フリーのp型領域は、水素の導入または再導入を防ぐために、MOCVDによる成長に先立ってn型領域を用いてキャップされなければならない。

【0028】

上記の成長技術は例示的なものであり、p型領域510、発光領域515、およびn型領域520のための上記の成長技術の組み合わせは、明細書および請求項の範囲内にある。成長の後で、半導体構造体は、任意の適切なデバイスへと加工され得る。

【0029】

図7は、所定の実施形態に従った、一つの例示的なトンネル接合型LED700である。一般的に、トンネル接合は、p型領域と、p型領域の中へ電流を注入する金属コンタクトとの間に配置されている。コンタクトは、n型領域上に形成されてよく、p型領域と比較して、はるかに良好なシート抵抗、そして、従って、電流拡散を有し得る。トンネル接合型LED700においては、トンネル接合型LED700の正および負端子の両方に対するコンタクト層としてn型領域が使用される。トンネル接合を介してp型領域からの正孔をn型コンタクト層における電子へと変換することによるものである。

【0030】

トンネル接合型LED700は、成長基板705上で成長したn型領域710と、それに続く発光領域715およびp型領域720を含むLED構造体702を有している。n型領域710は、異なる組成、ドーパント濃度（意図的でなくドーパされたもの、及び／又は、p型を含む）、および厚さの複数の層を含むことができる。発光領域715は、例えば、障壁層によって分離された複数の厚い又は量子井戸の発光層を含むことができる。p型領域720は、異なる組成、ドーパント濃度（意図的でなくドーパされたもの、及び／又は、n型を含む）、および厚さの複数の層を含むことができる。トンネル接合725は、p型領域720の上に形成されている。

【0031】

一つの実施形態において、トンネル接合725は、p型領域720と直接接触する、p++層としても参照される、高ドーパp型層、および、p++層と直接接触する、n++層としても参照される、高ドーパn型層を含んでいる。一つの実施形態において、トンネル接合725は、p++層とn++層との間に挟まれた、p++層およびn++層とは異なる組成の層を含んでいる。一つの実施形態において、トンネル接合725は、p++層とn++層との間に挟まれたInGaIn層を含んでいる。一つの実施形態において、トンネル接合725は、p++層とn++層との間に挟まれたAlIn層を含んでいる。トンネル接合725は、以下に説明するように、n型コンタクト層730と直接接触している。

【0032】

p++層は、例えば、約 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から約 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度まで、MgまたはZnといったアクセプタを用いてドーパされた、InGaInまたはGaInであり得る。いくつかの実施形態において、p++層は、約 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ から約 $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度までドーパされる。n++層は、例えば、約 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から約 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度まで、SiまたはGeといったアクセプタを用いてドーパされたInGaInまたはGaInであり得る。一つの実施形態において、n++層は、約7

10

20

30

40

50

$\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ から約 $9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度までドーピングされる。トンネル接合 725 は、たいいてい、非常に薄い。例えば、トンネル接合 725 は、約 2 nm から約 10 nm の範囲の総厚さを有することができ、そして、p++層およびn++層それぞれは、約 1 nm から約 50 nm の範囲の厚さを有することができる。一つの実施形態において、p++層およびn++層それぞれは、約 25 nm から約 35 nm の範囲の厚さを有し得る。p++層とn++層は必ずしも同じ厚さであることを要しない。一つの実施形態において、p++層は、15 nm の Mg ドープ InGaN であり、そして、n++層は、30 nm の Si ドープ GaN である。p++層およびn++層は、段階的 (graded) なドーパント濃度を有することができる。例えば、根底にある p 型領域 720 に隣接する p++層の一部分は、根底にある p 型領域 720 のドーパント濃度から p++層における所望のドーパント濃度まで段階的に変化するドーパント濃度を有することができる。同様に、n++層は、p++層に隣接する最大値から、トンネル接合 725 上に形成された n 型層 730 に隣接する最小値まで段階的に変化するドーパント濃度を有することができる。トンネル接合 725 は、逆バイアスモードで電流を伝導するときにトンネル接合 725 が低い直列電圧降下を示すように、十分に薄く、かつ、十分にドーピングされるように製造されている。一つの実施形態において、トンネル接合 725 にかかる電圧降下は約 0.1 V から約 1 V である。

10

【0033】

p++層とn++層との間に InGaN 又は AlN、もしくは、他の適切な層を含んでいる実施形態は、トンネリング (tunneling) のためにバンドを整列 (align) させるのを助けるように、III 族窒化物における分極場 (polarization field) を活用することができる。この分極効果は、n++層および p++層におけるドーピング要求を低減し、かつ、必要とされるトンネリング距離 (tunneling distance) を低減することができる (潜在的により高い電流を可能にする)。p++層とn++層との間の層の組成は、p++層とn++層の組成とは異なってよく、かつ／あるいは、III 族窒化物材料系において異なる材料間に存在する分極電荷 (polarization charge) によるバンド再整列 (band re-alignment) を生じさせるように選択されてよい。適切なトンネル接合の実施例は、米国特許第 8039352 号に記載されており、ここにおいて参照により組み込まれている。

20

【0034】

n 型コンタクト層 730 は、トンネル接合 725 上に、n++層と直接接触して形成されている。第 1 金属コンタクト 735 および第 2 金属コンタクト 740 は、それぞれ n 型コンタクト層 730 上および n 型領域 710 上に形成されている。メサ (mesa) が、図 7 に示されるように、フリップチップデバイスを形成するためにエッチングされてよく、または、あらゆる他の適切なデバイス構造体を使用されてよい。第 1 金属コンタクト 735 および第 2 金属コンタクト 740 は、アルミニウム又はあらゆる他の適切な 1 つまたはそれ以上のコンタクト金属といった、同一または異なる材料であってよい。

30

【0035】

一つの実施態様において、トンネル接合 725 の p++層は、別個の p 型領域 720 が必要とされないように、発光層 715 と直接接触してよい。

【0036】

成長基板 705 は、しばしば、サファイアであるが、例えば、SiC、Si、GaN、または複合基板といった、任意の適切な基板であってよい。III 族窒化物半導体構造体がある上で成長する成長基板 705 の表面は、成長前にパターン化、粗面化、またはテクスチャ化されてよく、トンネル接合 LED 700 からの光抽出を改善することができる。成長表面と反対側の成長基板 705 の表面 (すなわち、フリップチップ構成において大部分の光がそこを通じて抽出される表面) は、成長の前または後でパターン化、粗面化、またはテクスチャ化されてよく、トンネル接合 LED 700 からの光抽出を改善することができる。一つの実施態様において、薄層化 (thinning) によって露出された基板 705 の表面は、光抽出を改善するために、パターン化、テクスチャ化、または粗面化されている。

40

【0037】

50

第1および第2金属コンタクト735および740は、しばしば、反射性金属 (reflective metal) のエレクトロマイグレーションを防止または低減し得る反射性金属と保護金属といった複数の導電層を含んでいる。反射性金属は、しばしば、銀であるが、任意の適切な材料または複数の材料が使用されてよい。第1および第2金属コンタクト735および740は、酸化ケイ素 (oxide of silicon) または他の任意の適切な材料といった誘電体を用いて充填することができるギャップによって互いに電氣的に絶縁されている。n型領域715の一部分を露出させるための複数のビアが形成され得る。第1および第2金属コンタクト735および740は、図7に示される配置に限定されるものではない。当技術分野で知られているように、第1および第2金属コンタクト735および740は、誘電体/金属スタックを伴うボンドパッド (bond pad) を形成するように、再分配され得る。

10

【0038】

トンネル接合LED700に対する電気接続を形成するために、1つまたはそれ以上のインターコネクスト (interconnects) が、第1および第2金属コンタクト735および740上に形成されるか、または、電氣的に接続されている。インターコネクストは、例えば、半田、スタッドバンプ、金 (gold) 層、または任意の他の適切な構造体であってよい。

【0039】

図8は、所定の実施態様に従って、図7のトンネル接合型LED700を製造するための一つの例示的な方法800である。LED構造体702のn型領域710、発光領域715、およびp型領域720は、成長基板705上でMOCVDによって成長する (805)。LED構造体702は、次いで、RP-CVD及び/又はスパッタリング堆積チャンバへ移動され、そこでは、活性窒素の過剰圧力を用いて活性化アニールがインシチュ (in-situ) で行われる (810)。一つの実施態様において、活性化アニールは、RP-CVD及び/又はスパッタリング堆積チャンバに移動される前に、エクスシチュ (ex-situ) で行われる。トンネル接合725が、RP-CVD及び/又はスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用することによってLED構造体702の上に成長する (815)。n型コンタクト領域730の全部または一部分が、RP-CVD及び/又はスパッタリング堆積によって成長する (820)。構造体は、次いで、残りの構造体を成長させるためにMOCVDチャンバに戻されてよく、ここで、残りの構造体は、n型コンタクト領域730の一部分を含んでよい (825)。トンネル接合によって分離された所望の数のLEDを形成するために、このプロセスを繰り返すことができる (830)。

20

30

【0040】

一つの実施形態において、トンネル接合725は、周囲水素 (ambient hydrogen) なしで成長させる必要はない。例えば、p++層と、n++層の第1部分とを周囲水素フリーで成長させ、続いて、残りのn++層をMOCVDによって成長させることができる。一般的には、上述のように、一旦p++層がキャップされると、成長が水素を用いて発生し得る。

【0041】

一つの実施形態において、n型領域710、発光領域715、およびp型領域720の第1部分は、MOCVDによって成長する。MOCVDによって成長するp型領域720の第1部分は、例えば、少なくとも1nmかつ400nm以下の厚さ、少なくとも5nmかつ150nm以下の厚さ、および、少なくとも10nmかつ20nm以下の厚さ、であってよい。構造体は、次いで、RP-CVD及び/又はスパッタリング堆積チャンバに移動され、活性化アニールがその場で (in-situ) で行われる。p型領域720の第2部分が、次いで、RP-CVD及び/又はスパッタリング堆積によって成長する。第2部分は、いくつかの実施形態においては、例えば、少なくとも5nmかつ400nm以下の厚さ、および、少なくとも10nmかつ100nm以下の厚さ、であってよい。成長プロセスの残りは、上記の通りである。

40

【0042】

一つの実施形態において、n型領域710、発光領域715、p型領域720、トンネ

50

ル接合 725、および n 型コンタクト領域 730 を含む、全ての III 族窒化物層は、R P-CVD 及び／又はスパッタリング堆積によって成長させることができる。

【0043】

一つの実施形態において、トンネル接合型 LED 700 は、図 4、図 5、および図 6 に関して上記に説明したように、成長基板上で成長する。

【0044】

図 9 は、所定の実施態様に従った、別の例示的なトンネル接合型 LED 900 である。特に、トンネル接合型 LED 900 は、互いの上で成長し、かつ、トンネル接合を介して直列に接続された、複数の LED を含んでいる。一般的に、複数の LED が単一の LED のフットプリント内に作成されており、単位面積当たりで生成される光束を劇的に増加させることができる。加えて、トンネル接合によって接続された LED をより低い駆動電流で駆動することによって、各 LED は、そのピーク効率において動作することができる。単一の LED において、このことは、光出力における低下を結果として生じるであろう。しかしながら、所与のチップ領域の中に直列に接続された 2 つまたはそれ以上の LED を有することによって、効率を劇的に改善しながら、光出力を維持することができる。従って、トンネル接合型 LED 900 は、高い効率を必要とするアプリケーション、及び／又は、単位面積当たりの高い光束を必要とするアプリケーションにおいて使用することができる。

【0045】

トンネル接合型 LED 900 は、第 1 LED 構造体 902 を含み、構造体は、成長基板 905 上に成長した n 型領域 910 と、それに続く、発光領域 915 および p 型領域 920 とを含んでいる。トンネル接合 925 が、p 型領域 902 上に形成されている。第 2 LED 構造体 927 は、トンネル接合 925 上に形成された、第 2 n 型領域 930、第 2 発光領域 935、および第 2 p 型領域 940 を含んでいる。トンネル接合 925 は、p++ 層が第 1 LED 構造体 902 の p 型領域 36 と直接接触し、かつ、n++ 層が第 2 LED 構造 927 の n 型領域 930 と直接接触するように配向され (oriented) ている。第 1 金属コンタクト 945 および第 2 金属コンタクト 950 が、第 1 LED 構造体 902 の n 型領域 910 上、および、第 2 LED 構造 927 の p 型領域 940 上に、それぞれに形成されている。メサが、フリップチップデバイスを形成するためにエッチングされてよく、または、あらゆる他の適切なデバイス構造体を使用されてよい。一つの実施形態においては、n 型層上に第 2 金属コンタクト 950 を形成するために、追加のトンネル接合および n 型層が、第 2 LED 構造体 927 の p 型領域 940 上に形成され得る。トンネル接合型 LED 900 について説明された領域および層は、必要に応じて、トンネル接合型 LED 700 について上記に説明したものと同一材料、特性、特徴、及び／又は、特性を有することができる。

【0046】

図 9 においては、2 つの発光領域または活性領域が示されているが、各発光領域に隣接する p 型領域が、次の活性領域に隣接する n 型領域からトンネル接合によって分離されていれば、2 つの金属コンタクト間には任意の数の発光領域が含まれてよい。トンネル接合型 LED 900 は、2 つのコンタクトしか有していないので、発光領域 915 および 935 の両方は、同時に光を放射し、そして、個々に、かつ、別々に活性化することはできない。一つの実施形態において、スタックにおける個々の LED は、追加のコンタクトを形成することによって別々に活性化され得る。一つの実施形態においては、デバイスが、例えば、110 ボルト、220 ボルト等、といった典型的な線間電圧で動作できるように、デバイスは、十分なトンネル接合を有し得る。

【0047】

一つの実施態様において、発光領域 915 および 935 は、それらが同じ色の光を放射するように同じ組成で製造され、または、それらが異なる色 (すなわち、異なるピーク波長) の光を放射するように異なる組成で製造されてよい。例えば、2 つのコンタクトを有する 3 つの発光領域デバイスは、第 1 発光領域が赤色光を放射し、第 2 発光領域が青色光

を放射し、そして、第3発光領域が緑色光を発するように、製造され得る。活性化されると、デバイスは白色光を生成することができる。発光領域は、それらが同じ領域から光を放射して見えるようにスタックされているので、そうしたデバイスは、スタックされたものではなく、むしろ隣接する発光領域からの赤色、青色、および緑色の光を組み合わせるデバイスにおいて存在する混色 (color mixing) に伴う問題を回避することができる。

【0048】

異なる波長の光を放射する発光領域を伴うデバイスにおいて、最短波長の光を生成する発光領域は、そこから光が抽出される表面に対して最も近くに配置され得る。一般的には、LEDにおける、サファイア、SiC、またはGaNの成長基板である。最短波長の発光領域を出力表面の近くに配置することは、他の発光領域の量子井戸における吸収による損失を最小化することができ、そして、より長波長の発光領域をコンタクトによって形成されるヒートシンクの近くに配置することによって、より敏感であるより長い波長の量子井戸について熱影響 (thermal impact) を低減することができる。量子井戸層は、また、量子井戸層における光の吸収が低くなるように、十分に薄く作られ得る。デバイスから放射される混合光の色は、各色の光を放射する発光領域の数を選択することによってコントロールすることができる。例えば、人間の目は、緑色の光子に対して非常に敏感であり、赤色の光子および青色の光子に対してはそれほど敏感ではない。バランスされた白色光を作成するために、スタック発光領域デバイスは、単一の緑色発光領域と、複数の青色および赤色発光領域とを有し得る。

【0049】

成長基板905は、しばしば、サファイアであるが、例えば、SiC、Si、GaN、または複合基板といった、任意の適切な基板であってよい。III族窒化物半導体構造体がその上で成長する成長基板905の表面は、成長前にパターン化、粗面化、またはテクスチャ化されてよく、トンネル接合LED900からの光抽出を改善することができる。成長表面と反対側の成長基板905の表面 (すなわち、フリップチップ構成において大部分の光がそこを通じて抽出される表面) は、成長の前または後でパターン化、粗面化、またはテクスチャ化されてよく、トンネル接合LED900からの光抽出を改善することができる。一つの実施態様において、薄層化によって露出された基板905の表面は、光抽出を改善するために、パターン化、テクスチャ化、または粗面化されている。

【0050】

第1および第2金属コンタクト945および950は、しばしば、反射性金属のエレクトロマイグレーションを防止または低減し得る反射性金属と保護金属といった複数の導電層を含んでいる。反射性金属は、しばしば、銀であるが、任意の適切な材料または複数の材料が使用されてよい。第1および第2金属コンタクト945および950は、酸化ケイ素または他の任意の適切な材料といった誘電体を用いて充填することができるギャップによって互いに電気的に絶縁されている。n型領域910の部分を露出させるための複数のビアが形成され得る。第1および第2金属コンタクト945および950は、図9に示される配置に限定されるものではない。当技術分野で知られているように、第1および第2金属コンタクト945および950は、誘電体/金属スタックを伴うボンドパッドを形成するように、再分配され得る。

【0051】

トンネル接合LED900に対する電気接続を形成するために、1つまたはそれ以上のインターコネク트가、第1および第2金属コンタクト945および950上に形成されるか、または、電気的に接続されている。インターコネク트는、例えば、半田、スタッドバンプ、金層、または任意の他の適切な構造体であってよい。

【0052】

図10は、所定の実施態様に従って、図9のトンネル接合型LED000を製造するための一つの例示的な方法900である。第1LED構造体902のn型領域910、発光領域915、およびp型領域920は、成長基板905上でMOCVDによって成長する(1005)。LED構造体902は、次いで、RPCVD及び/又はスパッタリング

10

20

30

40

50

堆積チャンバへ移動され、そこでは、活性窒素の過剰圧力を用いて活性化アニールがその場で行われる（1010）。トンネル接合925が、R P-C V D及び／又はスパッタリング堆積のうち少なくとも1つを使用することによって第1 L E D構造体902の上に成長する（1015）。第2 L E D構造体923のn型コンタクト領域930の全部または一部分が、R P-C V D及び／又はスパッタリング堆積によって成長する（1020）。構造体は、次いで、残りの構造体を成長させるためにM O C V Dチャンバに戻されてよく、ここで、残りの構造体は、第2 L E D構造体923のn型コンタクト領域930、発光領域935、およびp型領域935の一部を含んでよい（1025）。トンネル接合によって分離された所望の数のL E Dを形成するために、このプロセスを繰り返すことができる（1030）。 10

【0053】

一つの実施形態において、トンネル接合925は、周囲水素フリーで成長させる必要はない。例えば、p++層と、n++層の第1部分とを周囲水素フリーで成長させ、続いて、残りのn++層をM O C V Dによって成長させることができる。一般的には、上述のように、一旦p++層がキャップされると、成長が水素を用いて発生し得る。

【0054】

一つの実施形態において、n型領域910、発光領域915、およびp型領域920の第1部分は、M O C V Dによって成長する。M O C V Dによって成長するp型領域920の第1部分は、例えば、少なくとも1nmかつ400nm以下の厚さ、少なくとも5nmかつ150nm以下の厚さ、および、少なくとも10nmかつ20nm以下の厚さ、であってよい。構造体は、次いで、R P-C V D及び／又はスパッタリング堆積チャンバに移動され、活性化アニールがその場で行われる。p型領域920の第2部分が、次いで、R P-C V D及び／又はスパッタリング堆積によって成長する。第2部分は、いくつかの実施形態において、例えば、少なくとも5nmかつ400nm以下の厚さ、および、少なくとも10nmかつ100nm以下の厚さ、であってよい。成長プロセスの残りは、上記の通りである。 20

【0055】

一つの実施形態において、n型領域910、発光領域915、p型領域920、トンネル接合925、およびn型コンタクト領域930を含む、全てのIII族窒化物層は、R P-C V D及び／又はスパッタリング堆積によって成長させることができる。 30

【0056】

一つの実施形態において、トンネル接合型L E D 900は、図4、図5、および図6に関して上記に説明したように、成長基板上で成長する。

【0057】

ここにおいて説明されたデバイスのいずれも、波長変換構造体と組み合わされてよい。波長変換構造体は、1つまたはそれ以上の波長変換材料を含み得る。波長変換構造体は、L E Dに対して直接接続されてよく、L E Dに近接して配置されるがL E Dに対して直接接続されなくてよく、または、L E Dから間隔を空けて置かれてよい。波長変換構造体は、任意の適切な構造であってよい。波長変換構造体は、L E Dとは別に形成されてよく、または、L E Dと共にその場で形成されてよい。L E Dとは別に形成される波長変換構造体の実施例は、焼結（sintering）または任意の他の適切なプロセスによって形成され得るセラミック波長変換構造を含み、粉末蛍光体（powder phosphors）といった波長変換材料であり、圧延され、鋳造され、または、そうでなければシートの中へ形成され、次いで、個々の波長変換構造体へと個片化される、シリコン（silicone）またはガラスといった透明材料の中に配置されているものを含み、そして、粉末蛍光体といった波長変換材料であり、フレキシブルなシートの中へ形成されるシリコンといった透明材料において配置され、L E Dの上にラミネートされ、または、そうでなければ配置されるものを含む。 40

【0058】

その場で形成される波長変換構造体の実施例は、シリコン（silicone）といった透明材料と混合され、そして、L E Dの上に分配され、スクリーン印刷され、ステンシル印刷 50

され、モールドされ、または、そうでなければ配置された、粉末蛍光体といった波長変換材料、および、電気泳動、蒸気、または、あらゆる他の適切なタイプの堆積によってLED上にコーティングされた波長変換材料を含んでいる。

【0059】

波長変換構造体の複数の形態が単一のデバイスにおいて使用され得る。例えば、セラミック波長変換部材は、モールド波長変換部材と、セラミックおよびモールド部材における同一または異なる波長変換材料と、組み合わせることができる。

【0060】

波長変換構造体は、例えば、従来の蛍光体、有機蛍光体、量子ドット、有機半導体、II-VI族またはIII-V族半導体、II-VI族またはIII-V族半導体量子ドット、もしくは、ナノ結晶、染料 (dyes)、ポリマー、または発光する他の材料を含み得る。

10

【0061】

波長変換材料は、LEDによって放射された光を吸収し、そして、1つまたはそれ以上の異なる波長の光を放射する。LEDによって放射され変換されていない光は、しばしば、そうである必要はないが、構造体から抽出される光の最終スペクトルの一部である。一般的な組み合わせの実施例は、黄色発光波長変換材料と組み合わされた青色発光LED、緑色および赤色発光波長変換材料と組み合わされた青色発光LED、青色および黄色発光波長変換材料と組み合わされたUV発光LED、そして、青色、緑色、および赤色の発光波長変換材料と組み合わされたUV発光LEDを含む。構造体から抽出された光のスペクトルを調整するために、他の色の光を放射する波長変換材料が加えてられてよい。

20

【0062】

いくつかの実施形態において、ここにおいて説明される方法は、MOCVDチャンバと、RPCVD及び／又はスパッタリング堆積チャンバとの間でウェハを移動するクラスタツールによって実行され得る。そうしたツールにより、スケーラブルな製造工程が可能になる。いくつかの実施形態において、RPCVD、スパッタリング堆積、およびMOCVDツールは、クラスタツールではなく、むしろスタンドアロン (stand-alone) である。いくつかの実施形態においては、単一のリアクタが、RPCVD及び／又はスパッタリング堆積およびMOCVD成長モードを同じ物理的チャンバの中に一緒に組み込んでよい。p型層におけるp型ドーパントを非活性化することなく、または、p型領域の電氣的挙動に影響を与えることなく、RPCVD及び／又はスパッタリング堆積によって実行される成長ステップの最中に、非常に少ない量の水素及び／又はアンモニアが使用されることが可能である。例えば、いくつかの実施形態において、水素は、それがp型GaNの非活性化を生じさせないと仮定して、いくつかのバブラ (bubblers) のためのキャリアガスとして使用され得る。

30

【0063】

ここにおいて説明される実施形態は、任意の適切な発光デバイスの中へ組み込むことができる。本発明の実施形態は、例えば、図5、図7、および図9の縦型デバイスといった、例示された特定の構造体に限定されない。

【0064】

上述の実施例および実施形態において、半導体発光デバイスは青色またはUV光を放射するIII族窒化物LEDであるが、LED以外の半導体発光素子、レーザダイオードといったもの、は本発明の範囲内である。加えて、ここにおいて説明される原理は、III-V族材料、III族リン化物、III族ヒ化物、II-VI族材料、ZnO、またはSi系材料といった、他の材料系から作られた半導体発光デバイスに対して適用可能であり得る。

40

【0065】

発光デバイスにおいて層を成長させるためにRPCVD及び／又はスパッタリング堆積を使用するためのここにおいて説明される非限定的な方法は、特許請求の精神および範囲内に留まりながらも、様々なアプリケーションおよび使用に対して変更され得る。ここにおいて説明され、かつ／あるいは、図面に示されている実施形態および変形は、実施例としてだけ提示されるものであり、かつ、範囲および精神について限定するものではない

50

。ここにおける説明は、特定の実施態様に関して説明されているが、発光デバイスにおいて層を成長させるためにR P-C V D及び／又はスパッタリング堆積を使用するための方法に係る全ての実施態様について適用可能であり得る。

【0066】

ここにおいて記載されるように、ここにおいて説明される方法は、任意の特定の機能を実行する任意の特定の要素に限定されるものではなく、そして、提示される方法のいくつかのステップは、必ずしも示された順序で生じることを要しない。例えば、いくつかの事例においては、2つまたはそれ以上の方法ステップが、異なる順序で、または、同時に生じてよい。加えて、説明される方法のいくつかのステップは、（たとえオプションであると明示的に述べられていなくても）オプションであってよく、そして、従って、省略されてよい。ここにおいて開示される方法に係るこれらおよび他の変形は、特に、ここにおいて説明される発光デバイスにおいて層を成長させるためにR P-C V D及び／又はスパッタリング堆積を使用するための方法に係る説明の観点で、直ちに明らかになるであろうし、そして、本発明の全範囲内にあるものと考えられる。

【0067】

いくつかの実施形態のいくつかの特徴は、省略されてよく、または、他の実施形態と共に実施されてよい。ここにおいて説明されるデバイス要素および方法要素は、交換可能であり、ここにおいて説明される任意の実施例または実施形態において使用されるか、または、省略されてよい。

【0068】

機能および要素は、特定の組み合わせにおいて上記に説明されているが、各特徴または要素は、他の特徴および要素なしに単独で、または、他の特徴および要素を用いて又は用いずに様々な組み合わせにおいて使用され得る。

【図1】

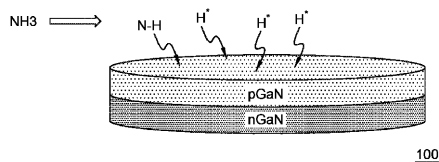


FIG. 1

【図4】

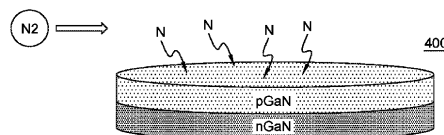


FIG. 4

【図2】

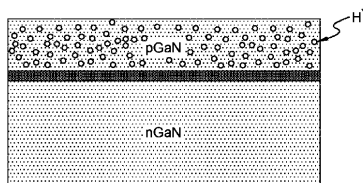


FIG. 2

【図5】

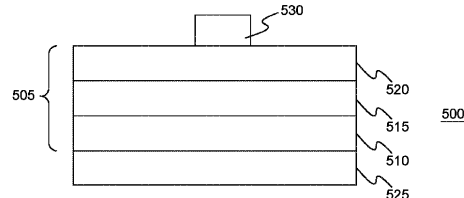


FIG. 5

【図3】

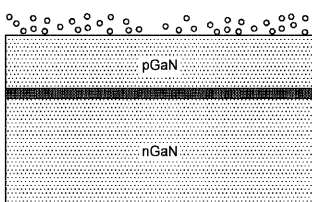
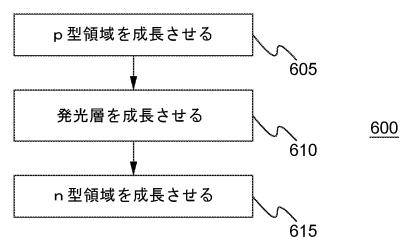


FIG. 3

【図6】



【図 7】

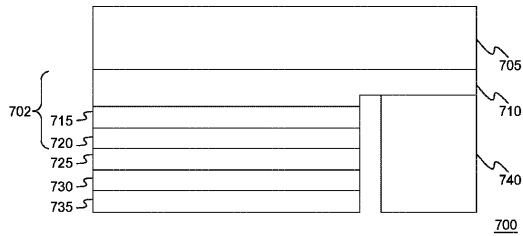


FIG. 7

【図 9】

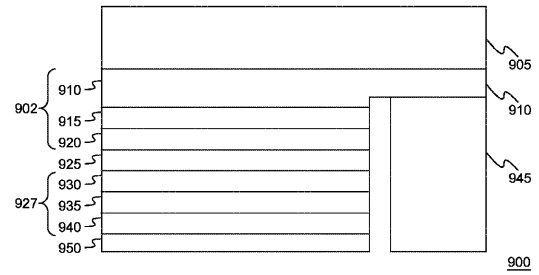
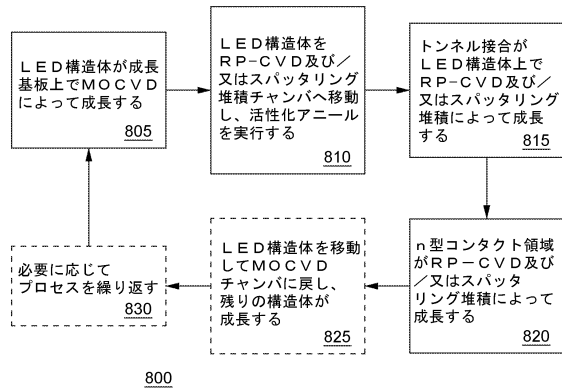


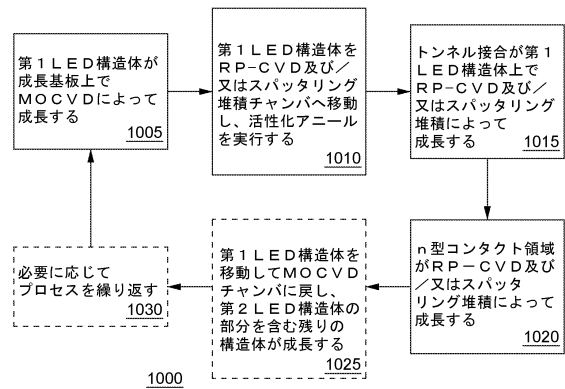
FIG. 9

【図 8】



800

【図 10】



1000

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 21/205

(72)発明者 ワイルドソン, アイザック
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サン ホセ ウェスト トリンブル ロード
3 7 0

(72)発明者 デブ, パリジャット
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サン ホセ ウェスト トリンブル ロード
3 7 0

(72)発明者 ネルソン, エリック チャールズ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 6 プレザトン パセオ サンタ クルーズ 6 5
4 3

(72)発明者 小林, 淳子
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サン ホセ ウェスト トリンブル ロード
3 7 0

審査官 村井 友和

(56)参考文献 特開2012-084667 (JP, A)
特開2009-044149 (JP, A)
特開2003-060236 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 4