

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-539731

(P2010-539731A)

(43) 公表日 平成22年12月16日(2010.12.16)

(51) Int.Cl.

H01L 33/32 (2010.01)

F 1

H01L 33/00

186

テーマコード(参考)

5FO41

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2010-526007 (P2010-526007)  
 (86) (22) 出願日 平成20年9月19日 (2008.9.19)  
 (85) 翻訳文提出日 平成22年5月12日 (2010.5.12)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2008/077064  
 (87) 國際公開番号 WO2009/039402  
 (87) 國際公開日 平成21年3月26日 (2009.3.26)  
 (31) 優先権主張番号 60/973,671  
 (32) 優先日 平成19年9月19日 (2007.9.19)  
 (33) 優先権主張國 米国(US)

(71) 出願人 592130699  
 ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ カリフォルニア  
 The Regents of The University of California  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94607 オークランド フランクリン ストリート 1111 トゥエルフス プロア  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策  
 (74) 代理人 100062409  
 弁理士 安村 高明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】パターン化した基板上の(AI, In, Ga, B)N装置

## (57) 【要約】

$0 < x < 1$ かつ $0 < y < 1$ である、 $In_xGa_{1-x}N$ および $In_yGa_{1-y}N$ の交互層の少なくとも2つの周期を有する窒化物中間層と、窒化物中間層上に少なくとも1つの量子井戸構造を有する窒化物に基づく活性領域とを備える、パターン化した基板上の窒化物発光ダイオードである。本発明は、発光効率を改善することによって、窒化物に基づく素子構造の電子効率特性の改善をもたらし、その結果、窒化物半導体素子の応用を種々の商品に展開することができる。また、本発明は、パターン化した基板上に成長させた多重量子井戸構造の活性層性質を改善することによって、光出力特性を大幅に増強する。この改善は、LED素子の光取り出しの改善が示された、パターン化した基板の使用の拡大をもたらし得る。

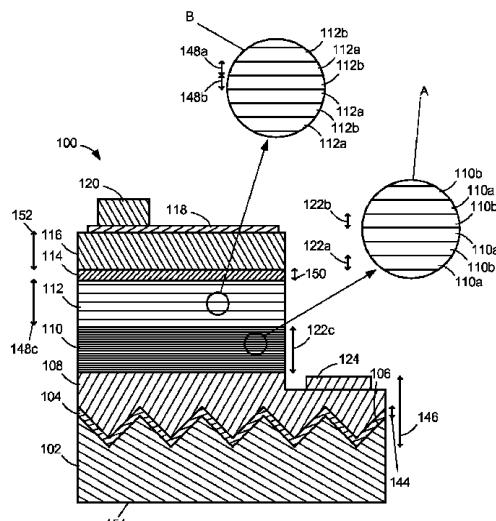


FIG. 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

パターン化した基板上の窒化物発光ダイオードであって、  
 n型層およびp型層と、  
 該n型層と該p型層との間にあり、異なるインジウム(  $In$  )組成を有する  $In$  含有層  
 の少なくとも2つの周期の交互層を有する、窒化物中間層と、  
 少なくとも1つの量子井戸構造を含む、該窒化物中間層の上またはそれより上側に、かつ  
 該n型層と該p型層との間に形成される、窒化物に基づく活性領域と  
 を備える、窒化物発光ダイオード。

**【請求項 2】**

10

前記2つの周期の交互層は、少なくとも2つの第二の窒化物層と交互配置される、少  
 なくとも2つの第一の窒化物層を備える、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項 3】**

前記第一の層はインジウムを含有し、前記第二の層は実質的に全くインジウムを含有  
 しない、請求項2に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項 4】**

前記2つの周期の交互層は、窒化物の臨界弾性厚さよりも小さい厚さを有し、それによ  
 り、前記窒化物中間層は、該交互層が該臨界厚さよりも大きい厚さで成長させられた構造  
 と比較して、前記活性領域の結晶品質を改善するための緩衝層の役割を果たす、請求項1  
 に記載の窒化物発光ダイオード。

20

**【請求項 5】**

前記交互層は、第一の層と第二の層とを備え、第一の層の厚さは、該交互層の屈折率を  
 変動させるために、該第一の層から前記活性層までの距離が減少するにつれて増加または  
 減少する、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項 6】**

前記交互層は、第一の層と第二の層とを備え、第一の層のインジウム組成は、該交互層  
 の屈折率を変動させるために、該第一の層から前記活性層までの距離が減少するにつれて  
 増加または減少する、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

30

**【請求項 7】**

前記交互層は、少なくとも2つの第一の層と、少なくとも2つの第二の層とを備え、該  
 第一の層は、  $In_x Ga_{1-x} N$  であり、該第二の層は、  $In_y Ga_{1-y} N$  、  $0 < x <$   
 $1$  かつ  $0 < y < 1$  である、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項 8】**

前記少なくとも1つの量子井戸のバンドギャップは、前記窒化物中間層のバンドギャップ  
 未満である、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項 9】**

前記窒化物発光ダイオードの前記p型窒化物層の最上部に形成される、少なくとも1つ  
 の透明導電酸化物(  $TCO$  )層と、該p型窒化物層と該  $TCO$  層との間に、またはそれら  
 に隣接して配置される、トンネル接合層とをさらに備える、請求項1に記載の窒化物発光  
 ダイオード。

40

**【請求項 10】**

前記透明導電酸化物層は、前記p型窒化物層に対するp型接触として使用される、請求  
 項9に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項 11】**

前記パターン化した基板は、c面、r面、またはa面によって表される、その主表面を  
 有する、パターン化したサファイア基板である、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード  
 。

**【請求項 12】**

前記パターン化した基板は、尖晶石(  $MgAl_2O_4$  )のパターン化したサファイア絶  
 縁基板、または、  $SiC$  ( 6H、4H、または3Cを含む )、  $Si$  、  $ZnO$  、  $GaAs$  、

50

またはGaNでできているパターン化した半導体基板である、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項13】**

前記パターン化した基板は、窒化ガリウム(GaN)の半極性または無極性の表面から成る、請求項1に記載の窒化物発光ダイオード。

**【請求項14】**

パターン化した基板上に窒化物発光ダイオードを製造する方法であって、

n型層とp型層との間に窒化物中間層を形成することであって、該窒化物中間層は、異なるインジウム(In)組成を有するIn含有層の少なくとも2つの周期の交互層を有する、ことと、

該窒化物中間層の上またはそれより上側で、かつ該n型層と該p型層との間に、窒化物に基づく活性領域を形成することであって、該窒化物に基づく活性層は、少なくとも1つの量子井戸構造を含む、ことと

を含む、方法。

**【請求項15】**

パターン化した基板上の窒化物発光ダイオードから発光する方法であって、

n型層とp型層との間に窒化物中間層を形成することであって、該窒化物中間層は、異なるインジウム(In)組成を有するIn含有層の少なくとも2つの周期の交互層を有する、ことと、

該窒化物中間層の上またはそれより上側で、かつ該n型層と該p型層との間に、窒化物に基づく活性領域から発光することであって、該窒化物に基づく活性層は、少なくとも1つの量子井戸構造を含む、ことと

を含む、方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

(関連出願の相互参照)

本願は、同時係属であって同一人に譲渡された米国仮特許出願第60/973,671号(2007年9月19日出願、名称「(Al, In, Ga, B)N DEVICE STRUCTURES ON A PATTERNED SUBSTRATE」、発明者(Michael Iza, Hitoshi Sato, Eu Jin Hwang, Steven P. DenBaars、およびShuji Nakamura)、代理人整理番号30794.243-US-P1(2007-773-1))の米国特許法第119条第(e)項の優先権の利益を主張し、この出願は、その全体が本明細書に参考として援用される。

**【0002】**

本願は、次の同時係属であって同一人に譲渡された米国特許出願に関連している:

米国実用特許出願第12/102,612号(2008年4月14日出願、名称「METHOD FOR DEPOSITION OF (Al, In, Ga, B)N」、発明者(Michael Iza, Steven P. DenBaars、およびShuji Nakamura)、代理人整理番号30794.219-US-U1(2007-338))であって、この出願は、米国仮特許出願第60/911,323号(2007年4月12日出願、名称「METHOD FOR DEPOSITION OF (Al, In, Ga, B)N」、発明者(Michael Iza, Steven P. DenBaars and Shuji Nakamura)、代理人整理番号30794.219-US-P1(2007-338))の米国特許法第119条第(e)項の優先権の利益を主張し、この出願は、その全体が本明細書に参考として援用される。

**【0003】**

(発明の分野)

(1. 技術分野)

本発明は、パターン化した基板上の窒化物に基づく発光ダイオード（L E D）構造等の、強化された性能を有する、パターン化した基板上の窒化物に基づく素子に関する。

### 【背景技術】

#### 【0004】

##### (2. 関連技術の説明)

(注：本出願は、明細書の全体を通して示されるように、角括弧内の1つ以上の参考番号、例えば[×]によって多数の異なる出版物を参照する。これらの参考番号による順序で示されるこれらの異なる出版物の一覧は、以下の「参考文献」という表題の項に見出すことができる。これらの出版物のそれぞれは、参照することにより本明細書に組み込まれる。)

10

窒化ガリウム（GaN）、およびアルミニウムおよびインジウムを組み込んだその三元および四元化合物（AlGaN、InGaN、AlInGaN）の有用性が、可視および紫外光電子素子および高出力の電子素子の製造について実証されてきた。これらの素子は、一般的に、分子ビームエピタキシ（MBE）、金属有機化学蒸着（MOCVD）、および水酸化物気相エピタキシ（HVPE）を含む成長手法を使用して、エピタキシャルに成長させる。

#### 【0005】

窒化物に基づく光電子素子は、高品質のGaNを堆積させる前の薄い核形成層の用法の出現によって、急速に商業化へと進み始めた。この手法は、GaN成長に利用できる天然基板の不足に起因して用いられている。マグネシウムドーピングに続く高温焼純によるp型GaNの開発等の、その後の手法も不可欠であることが判明した。しかしながら、短波長素子のための活性層としてのInGaNの使用が進展することによって、窒化物に基づく発光ダイオード（LED）およびレーザダイオード（LD）は、多数の他の研究ベンチャーを凌ぐことができるようになり、今では、可視光半導体の応用に使用される主要な材料系になってきている。

20

#### 【0006】

LEDの外部量子効率または全効率（ $L$ ）は、以下の式によって定義することができる。

#### 【0007】

$$L = \frac{e_{ext}}{i_{inj}}$$

30

式中、抽出効率 $e_{ext}$ は、取り出した光子の量として定義され、注入効率 $i_{inj}$ は、素子の活性領域内に注入されるキャリアの量として定義され、また、内部量子効率 $i_{inj}$ は、デバイスの活性領域内で発生する光子の量として定義される。素子の内部量子効率は、欠陥および不純物等の非放射中心の数を低減することによって最大化することができる。すでに、窒化物に基づく青色LEDの内部量子および注入効率は、素子層の堆積状態を最適化することによって、高いレベルにまで改善してきた。したがって、素子の外部効率におけるさらなる改善には、取り出し効率の改善が必要となる。

#### 【0008】

サファイア上に成長させた窒化物に基づく素子の取り出し効率は、窒化物膜とサファイアとの間の屈折率の差によって阻害される。この屈折差は、次に、活性領域内で発生する光を「閉じ込める」可能性のある内面反射を引き起こす。したがって、発生する光の大部分は、窒化物膜を通って伝播し、そして有用な光として使用することができない。

40

#### 【0009】

窒化物素子からの光取り出しを改善する1つの手法は、素子がその後に成長させられるパターン化した基板を使用することである。パターン化した基板は、縞、半円、角錐、異なる形状のメサ等（これに限定されない）が挙げられる表面特徴を生成するように処理された、任意の基板として定義される。基板上のパターンは、光干渉の抑制によって、素子の活性領域からの発光を取り出すことを支援する。Tadatomo他によるパターン化したサファイアウエハ上に成長させる初期の研究では、最初に、異なる結晶成長方向に沿って、パターン化した溝または縞上に成長させることによって、窒化物膜の転位密度を低

50

減しようと試みた[1(非特許文献1)]。これは、一般的に横方向エピタキシャル過成長(LEO)と称される2ステップの成長手順を避けるために行われたものであり、縞の最上部に成長させる窒化物膜の転位密度を低減するために、成長させたままの窒化物膜の最上部に堆積させた、パターン化したSiO<sub>2</sub>縞を使用する。LEOプロセスは、SiO<sub>2</sub>縞を堆積させるために、ウエハを反応器から取り除き、次いで、パターン化した窒化物膜の最上部に窒化物膜を再成長させるために、反応器内に再導入しなければならない、という事実のために扱い難いものである。パターン化した基板上に成長させる利点は、LEOプロセスの2つのステップと比較して、1つの堆積ステップで実行できることである。

#### 【0010】

パターン化した基板上に成長させたLED素子のさらなる改善は、各種パターン設計を用いることによって、光取り出しが高められたことを示した[2(非特許文献2)]。これらの素子は、パターン化していない基板上に成長させたLED素子と比較して、出力および発光効率の増加を呈した。しかしながら、これらの素子は、標準LED構造の使用を用いた。標準LED構造は、サファイアまたは炭化ケイ素基板と、GaNまたはAlGaNでできている緩衝層と、シリコンをドープしたGaNでできているn接触層と、InGaNを含有する単一量子井戸(QW)または多重量子井戸(MQW)でできている活性層と、AlGaNでできている電子阻止層と、マグネシウムをドープしたGaNでできているp接触層とを備える構造として説明される。この素子構造は、20mAの順方向電流において良好に機能することが示され、450nmで発光し、出力は10~15mWであった。

10

20

#### 【0011】

この標準素子構造は、パターン化していない基板に対して良好に機能したが、この標準構造は、パターン化した基板とともに使用した時に、同等の駆動電流での出力において不利益な性能を呈した。したがって、パターン化した基板上に堆積させた窒化物に基づくLEDの性能を向上させるためには、素子構造を改善する必要がある。本発明は、素子の活性領域に隣接して配置される窒化物に基づく中間層を含む素子構造を使用することによって、この問題に対処する。

#### 【0012】

上述のように、パターン化した基板上の窒化物LEDの素子構造に使用される現在の技術は、窒化物に基づく中間層の使用を用いていない。本発明は、パターン化した基板上に成長させた高出力LEDを実現できるようにする。窒化物中間層の使用は、従来のパターン化していない基板上に成長させたLEDの出力を増強することが示されたが、これが生じる理由については科学的な合意に達していなかった[3(非特許文献3)]。

30

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0013】

【非特許文献1】K. Tadatomo, H. Okagawa, Y. Ohuchi, T. Tsunekawa, T. Jyouichi, Y. Imada, M. Kato, H. Kudo, and T. Taguchi, phys. stat. sol. (a) 188, No. 1, pp. 121-125 (2001)

40

【非特許文献2】Motokazu Yamada, Tomotsugu Mitani, Yukio Narukawa, Shuji Shioji, Isamu Niki, Shinya Sonobe, Kouichiro Deguchi, Masahiko Sano, and Takashi Mukai, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002), pp. L1431-L1433, Part 2, No. 12B, 15 December 2002.

【非特許文献3】Shuji Nakamura, Takashi Mukai, Masayuki Senoh, Shin-ichi Nagahama, and Naruhito Iwasa, J. Appl. Phys. Vol. 74, No. 6 (1993), pp. 3911-3915, 15 September 1993

50

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0014】**

本発明は、発光素子の性能を改善するために、パターン化した基板上に窒化物中間層を使用することによって、それ自体と上述した素子設計とを区別する。その結果、素子構造が、パターン化した基板上に堆積させた従来の発光素子構造に存在する悪影響を最小化する、素子設計を改善した、パターン化した基板上の構造に対する必要性が存在する。本発明は、この必要性を満たすものである。

**【課題を解決するための手段】****【0015】**

10

上述の従来技術の制限を克服し、かつ本明細書を読み取って理解した時に明らかになる他の制限を克服するために、本発明は、窒化物に基づく素子構造の発光出力を増強する、パターン化した基板上の窒化物に基づく発光ダイオード(LED)等の、パターン化した基板上の窒化物に基づく素子構造を開示する。発光効率を改善することによって、窒化物に基づく素子構造の電子効率特性の改善をもたらし、その結果、窒化物半導体素子の応用を種々の商品に展開することができる。

**【0016】**

20

また、本発明は、パターン化した基板上に成長させた多重量子井戸構造の活性層性質を改善することによって、光出力特性を大幅に増強する。この改善は、LED素子の光取り出しの改善が示された、パターン化した基板の使用の拡大をもたらし得る。

**【0017】**

20

本発明の第一の窒化物半導体素子は、パターン化した基板を備え、かつ少なくともいくらかのインジウムを含有する窒化物中間層を組み込んでいる。この窒化物中間層は、素子の任意の部分に配置することができ、好ましくは素子の活性領域より上側に、より好ましくは素子の活性領域より下側に配置することができる。活性層は、少なくともいくらかのインジウムを含有する窒化物半導体でできている、好ましくは単一または多重量子井戸を有するInGaNでできていることにも留意されたい。少なくとも1つの量子井戸のバンドギャップは、窒化物中間層のバンドギャップ未満であってもよい。

**【0018】**

30

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子は、パターン化した基板上に複数の窒化物半導体膜を有するn領域を備える。n領域の窒化物半導体層のうちの少なくとも1つは、n側多層膜を有し、インジウムを含有する第一の窒化物半導体膜、および第一の窒化物半導体膜とは異なる組成を有する第二の窒化物半導体膜を交互に備える。第一の窒化物半導体膜のそれぞれ、および第二の窒化物半導体膜のそれは、交互に積層され、第一の窒化物半導体膜および第二の窒化物半導体膜のうちの少なくとも1つは、100オングストローム未満の厚さを有し、総多層膜厚は、300nm未満である。以下、これらの第一および第二の交互層を、窒化物中間層膜と称する。

**【0019】**

40

さらに、第一の窒化物半導体素子では、窒化物中間層膜は、代替として、少なくともいくらかのインジウムを含有し、総多層膜厚が300nm未満である、単一窒化物膜から成ることができる。

**【0020】**

40

窒化物LEDは、n型層およびp型層と、n型層とp型層との間にあり、異なるインジウム(In)組成を有するIn含有層の少なくとも2つの周期の交互層を有する、窒化物中間層と、少なくとも1つの量子井戸構造を含む、窒化物中間層の上またはそれより上側で、かつn型層とp型層との間に形成される、窒化物に基づく活性領域とを備え得る。

**【0021】**

50

本発明の第一の窒化物半導体素子では、窒化物中間層膜は、 $In_xGa_{1-x}N$ ( $0 < x < 1$ )、好ましくは $x < 0.3$ 、より好ましくは $x = 0.05$ 、でできていることが好ましい。

## 【0022】

2つの周期の交互層は、少なくとも2つの第二の窒化物層と交互配置される、少なくとも2つの第一の窒化物層を備え得る。本発明の第一の窒化物半導体素子では、窒化物中間層膜は、 $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) および  $In_yGa_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ 、 $y < x$ )、好ましくは  $x < 0.3$  および  $y < 0.3$ 、より好ましくは  $x = 0.05$  および  $y = 0$  の交互層でできていることが好ましい。しかしながら、本発明は、特定の  $x$  および  $y$  の値に限定されず、例えば、 $0 < y < 1$  を用いてもよい。例えば、第一の層は、インジウムを含有する場合があり、第二の層は、実質的にインジウムを全く含有しない場合がある。

## 【0023】

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子では、第一の窒化物半導体膜は、互いに厚さが異なる場合があり、および／もしくは第二の化物半導体膜は、互いに厚さが異なる場合がある。したがって、多層膜が、複数の第一および第二の窒化物半導体膜で交互に積層される場合、第二（第一）の窒化物半導体膜を挟む2つの第一（第二）の窒化物半導体膜は、互いに異なる厚さを有し得る。

10

## 【0024】

2つの周期の交互層は、窒化物の臨界弾性厚さよりも小さい厚さを有し得、よって、窒化物中間層は、交互層が臨界厚さよりも大きい厚さで成長させられる時の場合と比較して、活性領域の結晶品質を改善するための緩衝層の役割を果たす。第一の層の厚さは、交互層の屈折率を変動させるために、第一の層から活性層までの距離が減少するにつれて増加または減少し得る。

20

## 【0025】

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子では、第一の窒化物半導体膜は、互いにII族元素含有量が異なる場合があり、および／もしくは第二の窒化物半導体膜は、互いにIII族元素含有量が異なる場合がある。したがって、多層膜が、複数の第一および第二の窒化物半導体膜で交互に積層される場合、第二（第一）の窒化物半導体膜を挟む2つの第一（第二）の窒化物半導体膜は、異なる組成比のIIII族元素を有し得る。第一の層のインジウム組成は、交互層の屈折率を変動させるために、第一の層から活性層までの距離が減少するにつれて増加または減少し得る。

30

## 【0026】

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子では、n側窒化物中間層膜は、活性層から離間され得るが、好ましくは、出力特性を改善するために、活性層と接触して形成される。

## 【0027】

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子では、第一の窒化物半導体膜および第二の窒化物半導体膜は、どちらも不純物でドープされない。「非ドープ」という用語は、意図的にドープされない状態を表し、本発明に従って、隣接する窒化物半導体層から不純物が拡散する場合を含む。このような拡散した不純物による不純物濃度は、しばしば層内に濃度勾配を有する。

## 【0028】

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子では、n型不純物は、第一の窒化物半導体膜および第二の窒化物半導体膜のうちのいずれかでドープされる。これは変調ドーピングと称され、変調ドープすることによって、出力を改善することもできる。n型不純物は、IV族から選択することができ、Si、Ge、Sn、およびS、好ましくはSiまたはSn等のIV族元素が、n型不純物に用いられることに留意されたい。

40

## 【0029】

さらに、本発明の第一の窒化物半導体素子では、n型不純物は、第一の窒化物半導体膜および第二の窒化物半導体膜内両方にドープされる。n型不純物がドープされる場合、濃度は、 $5 \times 10^{21} / cm^3$  以下、好ましくは  $1 \times 10^{20} / cm^3$  以下に調整される。 $5 \times 10^{21} / cm^3$  を超える場合、窒化物半導体膜は、不十分な結晶品質を有し、よって、出力が低減される傾向がある。これは、変調ドーピングが使用される場合にも適合

50

される。

【0030】

本発明は、透明導電酸化物(TCO)の使用を通して、パターン化した基板上の活性領域の光出力を改善し、かつ発光ダイオードの光取り出し効率を増大する。p接触層は、一般的に、ニッケルおよび/もしくは金を含有する複数の薄い金属層から成る。これらの層の代表的な厚さは、20nm未満である。これらの層は、p型GaNに対するオーミック接触を形成することができるが、素子から発せられる光の一部を吸収し、それによって、素子の全効率を大幅に減少させることも分かっている。

【0031】

第二の窒化物半導体素子は、素子の光取り出し効率を増大し、それによって素子の全効率を改善するために構造化される。本発明の第二の窒化物半導体素子は、上記の説明で述べたように、第一の素子の組み合わせを含み、素子のp型窒化物膜の最上部に積層されるTCO膜の追加を伴う。

【0032】

加えて、第二の窒化物半導体素子は、透明な接触膜として機能するために、p型窒化物に隣接して配置されるTCOからさらに成る。したがって、TCO層は、p型窒化物層に対するp型接触として使用することができる。

【0033】

加えて、TCOは、酸化亜鉛、ZnO、または酸化インジウムスズ(ITO)等の、透明導電酸化物から成るものとすることができます。

【0034】

さらに、本発明の第二の素子では、TCO膜および第二の窒化物半導体膜は、不純物でドープされない。「非ドープ」という用語は、意図的にドープされない状態を表し、本発明に従って、隣接する窒化物半導体層から不純物が拡散する場合を含む。このような拡散した不純物による不純物濃度は、しばしば層内に濃度勾配を有する。

【0035】

さらに、本発明の第二の素子では、TCO膜は、種々の組成の複数の層から成ることができる。

【0036】

さらに、第二の素子のTCOは、光取り出しを増大させるために、パターン化する、または成形することができる。

【0037】

加えて、本発明は、p形半導体とTCOとの間に配置されるトンネル接合層の使用を通して、本発明の第三の窒化物素子を備える、TCOを伴うパターン化した基板上の発光ダイオード素子の順電圧 $V_f$ を低減する。

【0038】

さらに、トンネル接合層は、少なくともいくらかのガリウムを含有する窒化物層を含み得る。この窒化物層は、意図せずにドープすることができるが、好ましくは、シリコン等のn型不純物で、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 超、より好ましくは $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 超のドーピング濃度でドープされる。

【0039】

さらに、トンネル接合層は、少なくともいくらかのインジウムを含有する窒化物層を含み得る。この窒化物層は、意図せずにドープすることができるが、好ましくは、シリコン等のn型不純物で、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 超、より好ましくは $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のドーピング濃度でドープされる。

【0040】

本発明は、本発明の第四および第五の窒化物半導体素子によって説明されるように、TCOをパターン化または成形することによって、LEDの光取り出しを増加させる。成形は、物理的および/もしくは化学的プロセスによって達成することができ、かつ種々の形状または寸法から成り得る。

10

20

30

40

50

## 【0041】

本発明の第一、第二、第三、第四、および第五の素子は、パターン化した、またはパターン化していないT C Oおよび／もしくはトンネル接合と組み合わせることもできる、パターン化した基板上に堆積させた窒化物中間層を組み込む、窒化物発光素子構造を説明する。パターン化した基板は、あらゆるパターン、形状、または設計から成り得る。当該構造は、パターン化した基板上に窒化物中間層を組み込み（または備え）、また、T C Oおよび／もしくはトンネル接合も組み込む（または備える）場合もある、窒化物膜の最上部に成長させたあらゆる素子または構造からさらに成り得る。

## 【0042】

さらに、本発明は、第一の素子について上記に説明したように、パターン化した基板上に成長させた窒化物中間層を組み込んだ、第一、第二、第三、第四、および第五の素子のあらゆる組み合わせも含む。

10

## 【0043】

窒化物中間層膜は、変動または勾配組成層を有する複数の層、異なる（A l、G a、I n、B）N組成の層を備えるヘテロ構造、または異なる（A l、G a、I n、B）N組成の1つ以上の層を備え得る。窒化物中間層は、鉄、マグネシウム、シリコン、酸素、炭素、および／もしくは亜鉛等の元素で、意図せずにドープした、または意図的にドープした層から成り得る。窒化物中間層膜は、H V P E、M O C V D、またはM B Eを含む堆積法を用いて成長させられ得る。

20

## 【0044】

当該構造は、従来のc面配向の窒化物半導体結晶の上、またはa面もしくはm面等の無極性の面の上、あるいは任意の半極性の面の上等の、任意の結晶学的窒化物内で成長させた窒化物中間層をさらに備え得、パターン化した基板は、c面、r面、またはa面によって表されるその主表面を有する、パターン化したサファイア基板である。

## 【0045】

パターン化した基板は、尖晶石（M g A l<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）のパターン化したサファイア絶縁基板、またはS i C（6H、4H、または3Cを含む）、S i、Z n O、G a A s、またはG a Nでできているパターン化した半導体基板であり得る。パターン化した基板は、窒化ガリウム（G a N）の半極性または無極性の表面から成り得る。

30

## 【0046】

本発明は、上述の構造を使用して強化した特性を有する素子も開示する。

## 【0047】

本発明は、パターン化した基板上に窒化物発光ダイオードを製造する方法であって、n型層とp型層との間に窒化物中間層を形成するステップであって、窒化物中間層は、異なるインジウム（I n）組成を有するI n含有層の少なくとも2つの周期の交互層を有する、ステップと、窒化物中間層の上またはそれより上側で、かつn型層とp型層との間に、窒化物に基づく活性領域を形成するステップであって、窒化物に基づく活性層は、少なくとも1つの量子井戸構造を含む、ステップとを含む方法をさらに開示する。本発明は、パターン化した基板上の窒化物発光ダイオードから発光する方法であって、窒化物中間層の上、またはそれより上側で、かつn型層とp型層との間で、窒化物に基づく活性領域から発光するステップであって、窒化物に基づく活性層は、少なくとも1つの量子井戸構造を含む、ステップを含む方法をさらに含む。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0048】

以下、同じ参照符号が対応する要素を示す、複数の図面を参照する。

【図1】図1は、パターン化した基板から成り、かつ少なくともいくらかのインジウムを含有する窒化物中間層を組み込んだ、本発明の第一の窒化物半導体素子の概略断面図である。

50

【図2】図2は、p型窒化物膜の最上部に積層されるT C O膜と、図1に示されるような第一の素子との組み合わせから成る、本発明の第二の窒化物半導体素子の概略断面図であ

る。

【図3】図3は、p形半導体とTCOとの間に配置されるトンネル接合層の用法を示す概略断面図である。

【図4】図4は、TCOのパターン化または成形を示す、LEDの概略断面図である。

【図5】図5は、TCOのパターン化または成形を示す、別のLEDの概略断面図である。

【図6】図6は、パターン化したサファイア基板(PLL)上、およびパターン化していないサファイア基板上の両方に、いくらかのインジウムを含有する超格子(SL)を伴う、および伴わないLEDについて測定した出力を示す図である。

#### 【発明を実施するための形態】

10

#### 【0049】

以下の発明を実施するための最良の形態では、本発明の一部を形成し、本発明を実施することが可能な特定の実施形態を図示するために示される添付図面を参照する。本発明の範囲から逸脱することなく、他の実施形態が用いられてもよく、また、構造的な変更が行われてもよいことを理解されたい。

#### 【0050】

##### (概要)

本発明は、パターン化した基板上にMOCVDを介して堆積させた窒化物中間層を組み込む、窒化物発光素子構造を説明する。発光素子内に組み込まれる、窒化物に基づく中間層構造の使用は、窒化物発光素子の性能を改善する手段を提供する。窒化物という用語は、化学式 $GaNAl_xIn_yB_zN$ を有し、式中、

$$0 \leq n \leq 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, \text{ および } n + x + y + z = 1$$

20

である、(Ga、Al、In、B)N半導体のあらゆる合金組成を指す。

#### 【0051】

現在のパターン化した基板上に堆積させた窒化物発光素子構造は、窒化物中間層を伴わない構造から成る。これらの構造は、定電流での出力に対して素子性能の大幅な低下を示す。窒化物中間層を組み込む窒化物発光素子構造は、定電流での素子の出力を大幅に増大することによって、窒化物LEDの性能を増大させる手段を提供する。本発明は、パターン化した基板上に蒸着される窒化物LEDの窒化物素子の性能を増強する。

#### 【0052】

30

##### (技術的説明)

##### (実施形態1)

図1は、本発明の実施形態1による、窒化物半導体素子(LED素子)100の構造を示す概略断面図である。このLED100は、パターン化したサファイア基板102を備え、かつ以下の順序で連続的に基板102上に堆積される。GaNでできている第一の緩衝層104(基板102の表面106に最も近い)、シリコンでドープしたGaNでできているn接触層108、InGaN/GaN超格子構造110でできているn側多層膜(層110aおよび110bを含み得る)、InGaN/GaNでできている多重量子井戸構造を備える活性層112(層112aおよび112bを含み得る)、マグネシウムでドープしたp側AlGaN電子阻止層114、マグネシウムでドープしたGaNを含むp接触層116、薄い透明なp接触層118、および基板102のパターン化した表面106から最も遠い、厚いpパッド層120。

40

#### 【0053】

LED素子100は、第一の緩衝層104、n接触層108、およびn側窒化物多層膜110を備えるn領域と、p側AlGaN電子阻止層114およびp接触層116を備えるp領域との間に挟まれる、多重量子井戸構造の活性層112を有する。

#### 【0054】

窒化物半導体素子100は、n領域内の活性層112の下にn側多層膜110を備え、図1内の拡大図Aに示されているように、Inを含有する第一の窒化物半導体膜110a、および第一の窒化物半導体膜110aとは異なる組成の第二の窒化物半導体膜110b

50

を堆積させる。n側多層膜110は、第一の窒化物半導体膜110aおよび第二の窒化物半導体膜110bのそれぞれのうちの少なくとも1つを備え、好ましくは合計で4つ以上、より好ましくは膜110aおよび110bのそれぞれのうちの少なくとも2つ、すなわち合計で5つ以上の膜を備える。

【0055】

図2は、多層膜110が、一連の第二の窒化物半導体膜 $110b_{i-1}$ 、 $110b_i$ 、 $110b_{i+1}$ と交互配置される、一連の第一の窒化物半導体膜 $110a_{i-1}$ 、 $110a_i$ 、 $110a_{i+1}$ を備え得ることを示しており、iは、膜の番号を示す整数である。しかしながら、個々の膜 $110a_i$ 、 $110a_{i-1}$ 、および $110a_{i+1}$ ( $110b_i$ 、 $110b_{i-1}$ 、および $110b_{i+1}$ )の性質が類似している場合は、膜 $110a_i$ 、 $110a_{i-1}$ 、および $110a_{i+1}$ ( $110b_i$ 、 $110b_{i-1}$ 、および $110b_{i+1}$ )は、図1に示されているように、全体として $110a(110b)$ と呼ばれる。  
10

【0056】

図1に示されているように、n側多層膜110が、活性層112と接触して形成される場合、活性層112の最初の層(障壁層112aまたは井戸層112b)との接触が保たれる窒化物半導体膜110aおよび110bのうちの1つは、第一の窒化物半導体膜110aまたは第二の窒化物半導体膜110bのいずれかとなり得る。

【0057】

n側多層膜110における窒化物膜110aおよび110bの堆積順序は、任意に選択してもよい。また、図示の実施形態では、n側多層膜110が、活性層112と直接接触して形成されているが、n型窒化物半導体でできている別の層が、n側多層膜110と活性層112との間に介在してもよい。  
20

【0058】

厚さ $122a$ を有する少なくとも1つの第一の窒化物半導体膜110a、および厚さ $122b$ を有する少なくとも1つの第二の窒化物半導体膜110bは、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下の、膜厚 $122a$ 、 $122b$ を有するように設計される。例えば、厚さ $122a$ および $122b$ は、異なっていてもよい。図2に示されているように、膜 $110a_i$ が厚さ $122a_i$ を有し、膜 $110b_i$ が厚さ $122b_i$ を有し、厚さ $122a_i$ および $122b_i$ が、どちらも上述の範囲内にある場合は、膜 $110a_i$ および $110b_i$ が、臨界弹性厚さよりも薄いので、そのような薄膜 $110b_i$ ( $110a_i$ )上に堆積される第一(または第二)の窒化物半導体膜 $110a_{i+1}$ (または $110b_{i+1}$ )の結晶品質を改善することができ、それによって、総じてn側多層膜110の結晶品質を改善して、素子100の出力能力を増加させることができる。層110は、厚さ $122c$ を有する。  
30

【0059】

少なくとも1つの第一の窒化物半導体膜110aは、In、好ましくは化学式 $In_xGaN_{1-x}N$ ( $0 < x < 1$ )で表される三元化合物を含有する窒化物半導体でできており、式中、xは、好ましくは0.5以下、より好ましくは、0.1以下である。

【0060】

一方で、少なくとも1つの第二の窒化物半導体膜110bは、膜110bの窒化物半導体材料が、少なくとも1つの第一の窒化物半導体膜110aに使用される窒化物半導体と異なっていれば、あらゆる好適な窒化物半導体でできいてもよい。しかしながら、少なくとも1つの第二の窒化物半導体膜110bが優れた結晶品質を保つためには、少なくとも1つの第一の窒化物半導体膜110aよりも高いバンドギャップを有する二元または三元化合物を使用すべきであるが、本発明は、これらの化合物だけに限定されない。種々の窒化物半導体の中から、少なくとも1つの第二の窒化物半導体膜110bのための材料としてGaNを選択した場合、優れた結晶品質を有する多層膜を形成することができる。したがって、少なくとも1つの第一の窒化物半導体膜110aに対する $In_xGaN_{1-x}N$ の使用、式中、xは、0.5以下である、および少なくとも1つの第二の窒化物半導体膜  
40

110bに対するGaNの使用が、材料の好適な組み合わせである。

#### 【0061】

一実施形態では、第一および第二の窒化物半導体膜110aおよび110bのうちのいずれか1つは、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下の膜厚122a、122bを有する。第一および第二の窒化物半導体膜110aおよび110bのそれぞれに対する100オングストローム以下の膜厚122a、122bの選択は、それぞれの窒化物半導体膜110aおよび110bが、臨界弾性厚さ以下の膜厚122a、122bを有することができ、したがって、膜110aおよび110bを厚膜に成長させる場合と比較して、優れた結晶品質を有する窒化物半導体110a、110bを成長させることができることを意味する。70オングストローム以下の膜厚122a、122bの選択は、多層膜110を超格子構造に作製する時に有効であり、したがって、続いて活性層112を、優れた結晶品質を有するこの超格子多層膜110上にさせる時に、多層膜110は、緩衝層のそれに類似する機能を有することができ、優れた結晶品質を有する活性層112を成長させることができるようになる。10

#### 【0062】

別の実施形態では、第一の窒化物半導体膜110aiは、異なる厚さ122aiを有し得、また、第二の窒化物半導体膜110biは、異なる厚さ122biを有し得る。例えば、第一（第二）の窒化物半導体膜110ai（110bi）のうちの少なくとも1つは、次の隣接する第一（第二）の窒化物半導体膜110ai-1（110bi-1）および110ai+1（110bi+1）とは異なる膜厚122ai（122bi）を有することができる（すなわち、膜110ai（110bi）の厚さ122ai（122bi）は、第一（第二）の窒化物半導体膜110a（110b）の配列において、それぞれ膜110ai（110bi）より下側および上側にある、膜110ai-1（110bi-1）の厚さ122ai-1（122bi-1）、および／もしくは膜110ai+1（110ai+1）の厚さ122ai+1（122bi+1）と異なるものとすることができます）。さらなる実施例として、第一の窒化物半導体膜110aがInGaNでできており、また、第二の窒化物半導体膜110bがGaNでできていると仮定すると、隣接するGaN層110biと110bi-1との間に介在するInGaN層110aiは、層110aiから活性層112までの距離が減少するにつれて、増加または減少する変動膜厚122aiを有し得る。その際に、多層膜110は、異なる屈折率を有する窒化物半導体膜110aiおよび110biによって変動屈折率を有することができ、結果的に、多層膜110は、勾配組成の窒化物半導体層と実質的に同じ効果を呈することができる。したがって、ビーム導波路の使用を必要とするタイプの半導体レーザ等の半導体素子では、多層膜110は、レーザビームのモードを調整するために、ビーム導波路を提供することができる。20

#### 【0063】

層110biの厚さも、活性層112までの距離が減少するにつれて変動し得る。

#### 【0064】

また、第一（第二）の窒化物半導体膜110a（110b）のうちの少なくとも1つは、次の隣接する第一（第二）の窒化物半導体膜110a（110b）における組成とは異なるIII族元素の組成を含有し得る。例えば、膜110ai（110bi）の組成は、第一（第二）の窒化物半導体膜110a（110b）の配列において、それぞれ膜110ai（110bi）より下側および上側にある、膜110ai-1（110bi-1）および／もしくは膜110ai+1（110ai+1）の組成と異なるものとすることができます。さらなる実施例として、第一の窒化物半導体膜110aがInGaNでできており、また、第二の窒化物半導体膜110bがGaNでできていると仮定すると、隣接するGaN層110biと110bi-1との間に介在するInGaN層110aiに含有されるInの量は、層110aiから活性層112までの距離が減少するにつれて、増加または減少し得る。そのような場合は、上述の異なる膜厚を用いる場合と同様に、多層膜110304050

0は、異なる屈折率を有する窒化物半導体膜110a<sub>i</sub>および110b<sub>i</sub>によって変動屈折率を有することができ、結果的に、多層膜110は、勾配組成の窒化物半導体層と実質的に同じ効果を呈することができる。屈折率は、使用するInの量の減少とともに減少する傾向があることに留意されたい。

#### 【0065】

別の実施形態では、第一および第二の窒化物半導体層110aおよび110bは、同じ半導体材料でできているものとすることができます、したがって、上述の膜110aおよび110bから成る多層膜110と同じ総厚さ122cの単一の層110を作製することができる。窒化物多層膜110は、In、好ましくは化学式In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0<x<1)で表される三元化合物を含有する窒化物半導体でてきており、式中、xは、好ましくは0.5以下、より好ましくは、0.1以下である。この膜厚は、膜110aおよび110bから成る多層膜と比較して、単一の膜しか組み込まないので、膜110を堆積する、より簡単な方法を可能にする。

#### 【0066】

ここでも、本実施形態の実施に際して、第一および第二の窒化物半導体膜110aおよび110bのうちの一方または両方は、ドープされないもの、またはn型不純物でドープされるもののいずれかであってもよい。結晶品質を高めるために、第一および第二の窒化物半導体膜110aおよび110bは、好ましくはドープされないが、変調ドープされてもよく、または第一および第二の窒化物半導体膜110aおよび110bの両方が、n型不純物でドープされてもよい。第一および第二の窒化物半導体膜110aおよび110bが、どちらもn型不純物でドープされる場合、1つ以上の第一の窒化物半導体膜110a内のn型不純物の濃度は、1つ以上の第二の窒化物半導体膜110b内の濃度と異なっていてもよい。

#### 【0067】

別の実施形態では、透明なp電極118が、p接触層116の最上面のほぼ全体に形成され、結合のためのpパッド電極120が、p電極118上の一部に形成される。また、発光素子100は、n側窒化物半導体層108の表面が露出されて、その上にn電極124が形成される部分を有する。

#### 【0068】

##### (実施形態2)

実施形態2による窒化物半導体発光素子126は、図2に示されているように、実施形態2における透明なp接触層128が、TCO等の新規なp接触から成り、それによって、実施形態1において説明されている薄い半透明のp電極層118を置き換えていることを除いて、実施形態1と同じ構造を有する。

#### 【0069】

具体的には、TCO128は、ZnOまたはITO等の元素から成るものであってよい。

#### 【0070】

これらの層128は、MOCVD反応器内等の、原位置に堆積させることができ、または別々の蒸着プロセスによって続いて積層することができる。TCO128は、適切なプロセスを用いて、構造的に結合することもできる。

#### 【0071】

また、TCO膜または膜128は、複数の異なる層および組成を含み得る。それらは、導電性および構造組成等の膜128の性質を調整するために、種々の元素によって、意図せずにドープするか、または意図的にドープすることもできる。TCO層128は、p型窒化物層116に対するp型接触として使用され得る。

#### 【0072】

TCO膜128は、種々の厚さ130を含み得る。

#### 【0073】

##### (実施形態3)

10

20

30

40

50

実施形態 3 による窒化物半導体発光ダイオード 132 は、図 3 に示されているように、トンネル接合層 134 が、p 型 GaN 接触層 116 と TCO 128 との間に積層されることを除いて、実施形態 2 と同じ構造を有する。

#### 【0074】

トンネル接合層 134 は、層 134 の導電性を制御するために、シリコンまたはマグネシウムの元素等の、n 型または p 型不純物で意図的にドープした窒化物半導体からなり得る。トンネル接合層 134 は、種々の厚さ 136 および組成から成るものとすることができる。層 134 は、複数の異なる層から成るものとすることもできる。層 134 は、勾配組成でドープする、または変調ドープすることもできる。

#### 【0075】

例えば、トンネル接合層 134 は、GaN を含む、窒化物に基づく層であってもよく、または、例えば、トンネル接合層は、少なくともいくらかのインジウムを含有してもよい。

#### 【0076】

##### (実施形態 4)

実施形態 4 による窒化物半導体発光ダイオード 138 は、図 4 に示されているように、素子 140 からの光取り出しを増大するために、TCO 128 が成形される（すなわち、凸凹のある、またはパターン化した表面 140 を備える）ことを除いて、実施形態 2 と同じ構造を有する。140 の成形は、物理的または化学的プロセスによって達成することができる。140 の成形は、種々の形状および寸法から成るものとすることもできる。

#### 【0077】

##### (実施形態 5)

実施形態 5 による窒化物半導体発光ダイオード 142 は、図 5 に示されているように、素子 142 からの光取り出しを増大するために、TCO 128 が成形される（すなわち、凸凹のある、またはパターン化した表面 140 を備える）ことを除いて、実施形態 3 と同じ構造を有する。140 の成形は、物理的または化学的プロセスによって達成することができる。140 の成形は、種々の形状および寸法から成るものとすることもできる。

#### 【0078】

##### (実施形態 6)

図 1 ~ 5 で説明されている全ての層が必要であるというわけではない。例えば、実施形態 6 は、パターン化した基板 102 上に窒化物発光ダイオードまたはレーザダイオードを備え、当該ダイオードは、n 型層 108 および p 型層 116 と、n 型層 108 と p 型層 116 との間にあり、異なるインジウム (In) 組成を有する In 含有層の少なくとも 2 つの周期の交互層 110a および 110b を有する（1 つの周期は、層 110a 上の層 110b の（または層 110b 上の層 110a の）積層を含み、2 つの周期は、層 110b<sub>i-1</sub> 上の層 110a<sub>i</sub>、層 110a<sub>i</sub> 上の層 110b<sub>i</sub>、および層 110b<sub>i</sub> 上の層 110a<sub>i+1</sub> を含む積層等の、2 つの層 110b と交互配置される、2 つの層 110a を備える）窒化物中間層 110 と、窒化物中間層 110 の上またはそれより上側で、かつ n 型層 108 と p 型層 116 との間に形成される窒化物に基づく活性領域 112 であって、少なくとも 1 つの量子井戸構造（障壁層 112a および量子井戸層 112b）を含み得る活性層 112 とを備える。例えば、交互層は、第一の層 110a と、第二の層 110b とを備えてよく、第一の層は、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N であり、第二の層は、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N であり、0 < x < 1 および 0 < y < 1 である。

#### 【0079】

##### (プロセスステップ)

以下、本発明による、素子構造を製造するための方法の一実施例を説明し、かつ図 1 ~ 5 によって示す。

#### 【0080】

最初に、パターン化した基板 102 を反応器内に装填して洗浄する。本実施例では、パターン化したサファイア基板 102 (C 面) は、金属有機気相エピタキシー (MOVPE)

10

20

30

40

50

) 反応器内に設置し、基盤 102 の温度を、基板 102 を洗浄するために、水素フローによって 1150 まで上昇させた。C 面サファイア基板 102 の代わりに、基板 102 は、R または A 面によって表されるその主表面を有する、パターン化したサファイア基板 102、例えば尖晶石 ( $MgAl_2O_4$ ) のパターン化した絶縁基板 102、または、例えば SiC (6H、4H、または 3C を含む)、Si、ZnO、GaAs、または GaN でできているパターン化した半導体基板 102 であってもよい。パターン化した基板は、窒化ガリウム (GaN) の半極性または無極性の表面 106 から成るものであってもよい。

#### 【0081】

基板 102 を洗浄するために用いた上述の温度上昇に続いて、温度を 570 に下げ、約 200 オングストロームの厚さ 144 を有する、GaN でできている第一の緩衝層 104 を、搬送ガスとして水素を使用し、また、材料ガスとしてアンモニアおよび TMG (トリメチルガリウム) を使用して、基板 102 上に成長させた。低温で成長させられるこのような緩衝層 104 は、基板 102 の種類、成長方法等に応じて省略されてもよい。

#### 【0082】

緩衝層 104 が成長した後に、TMG だけを止めて、温度を 1185 に上昇させた。 $3 \times 10^{19} / cm^3$  に Si でドープした GaN でできており、かつ 4 μm の厚さ 146 を有する n 接触層 108 を、上述のステップと同じように材料ガスとしてアンモニアおよび TMG を使用し、また不純物ガスとしてシランガスを使用して成長させた。この n 接触層 108 は、 $In_xAl_yGaN$  ( $0 < x, y, x+y < 1$ ) でできてもよい。組成は、その組成に特に限定されないが、好ましくは、GaN および  $Al_xGa_{1-x}$  ( $x$  は、0.2 以下) であってもよい。そのような場合は、最小化された結晶欠陥を有する窒化物半導体層 108 を、容易に得ることができる。

#### 【0083】

n 接触層 108 の厚さ 146 は、任意の厚さ 146 に特に限定されないが、厚さ 146 は、一般的に、n 電極 124 がその上に形成されるので、4 μm 以上である。さらに、n 型不純物は、望ましくは、窒化物半導体 108 の結晶品質を低下させない程度の高濃度、好ましくは  $1 \times 10^{18} / cm^3$  と  $5 \times 10^{21} / cm^3$  との間でドープされてもよい。

#### 【0084】

次に、温度を 910 に下げ、非ドープの  $In_{0.03}Ga_{0.97}N$  でできていて、かつ 25 オングストロームの厚さ 122a を有する第一の窒化物半導体膜 (層 110a) を、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、およびアンモニアを使用して成長させた。続いて、TMI を遮断し、GaN でできていて、かつ 25 オングストロームの厚さ 122b を有する第二の窒化物半導体膜 (層 110b) を、第一の膜 110a の上に成長させた。次いで、これらの操作を繰り返し、第一の膜 110a、第二の膜 110b、第一の膜 110a 等の順序で、それぞれ 50 回、第一の膜 110a および第二の膜 110b を交互に積層することによって、250 nm の厚さ 122c を有する超格子構造の n 側多層膜 (窒化物中間層膜) 110 を形成した。

#### 【0085】

次に、非ドープの GaN でできていて、200 オングストロームの厚さ 148a を有する障壁層 112a を、880 で成長させ、非ドープの  $In_{0.4}Ga_{0.6}N$  でできていて、25 オングストロームの厚さ 148b を有する井戸層 112b を、TMG、TMI、およびアンモニアを使用して成長させた。図 1 内の拡大図 B に示されているように、150 オングストロームの総厚さ 148c を有する多重量子井戸構造の活性層 112 を、障壁層 112a、井戸層 112b、障壁層 112a 等の順序で、7 つの障壁層、層 112a、および 6 つの井戸層、層 112b を交互に積層して、障壁層 112a で終了することによって成長させた。活性層 112 は、最初に第一の障壁層 112a を積層することによって成長させたが、井戸層 112b を最初に、および最後にも積層することによって成長させてもよい。活性層 112 は、井戸層 112b を最初に、かつ障壁層 112a を最後に積層することによって成長させてもよく、または、順序は、障壁層 112a から開始して、井戸層 112b で終了してもよい。したがって、障壁層 112a および井戸層 112b を堆

10

20

30

40

50

積する順序は、特定の順序に特に限定されない。

【0086】

井戸層112bは、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下の厚さ148bを有するように設定した。100オングストロームを超える厚さ148bは、素子100の出力増加を困難にし得る。

【0087】

一方で、障壁層112aは、300オングストローム以下、好ましくは250オングストローム以下、より好ましくは200オングストローム以下の厚さ148aを有するように設定した。

10

【0088】

量子井戸112bは、窒化物中間層110のバンドギャップ未満のバンドギャップを有し得る。

【0089】

次に、TMG、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニアを使用して、意図せずにドープした $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ でできていて、(例えば)200オングストロームの厚さ150を有する、第三の窒化物半導体膜114を成長させた。この $\text{Al}_x\text{Ga}_N$ 電子阻止層114は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_N$ ( $0 < x, y, x+y < 1$ )でできていてもよい。当該組成は、この組成に特に限定されないが、好ましくは $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ( $x$ は、0.2以下)であってもよい。

20

【0090】

続いて、910で、TMG、アンモニア、および $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を使用して、 $\text{Mg}$ で $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ にドープしたp型 $\text{Ga}_N$ でできていて、(例えば)700オングストロームの厚さ152を有する、p接触層116を成長させた。p接触層116は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ( $0 < x, y, x+y < 1$ )でできていてもよい。当該組成は、この組成に特に限定されないが、好ましくは $\text{GaN}$ であってもよい。そのような場合は、最小化された結晶欠陥を有する窒化物半導体層116を得ることができ、かつp電極材料118との優れたオーミック接触を達成することができる。

【0091】

反応器が冷却された時点で、窒化物ダイオード100を取り出し、p型 $\text{GaN}$ 116を活性化するために、700で15分間、水素欠乏の雰囲気中で焼鈍した。

30

【0092】

(可能な変更)

上述の開示において説明されている層厚および組成は例示的なものであり、本発明は、これらの特定の層厚および組成に限定されない。実際に、本発明は、(好ましくはパターン化した)基板上に窒化物中間層(好ましくは多層膜)を備える、窒化物膜の最上部に成長させた素子または構造(例えば、活性層)を対象にする。しかしながら、中間層はまた、活性層より上側にあってもよい。

【0093】

(利点および改善点)

図6は、パターン化した102およびパターン化していない両者のサファイア基板上の、いくらかのインジウムを含有する超格子110を伴う、および伴わないLEDについて測定した、「オンウェハ」出力を示している。LEDの出力は、基板102の後部154を通して、シリコン光検出器を使用して光出力を測定することによって評価した。これは、一般に「オンウェハ」測定と称される。図6は、パターン化していないサファイア基板およびパターン化したサファイア基板(PSS)102上の試料について、超格子(SL)110を使用することによる出力の増加を示している。しかしながら、図6から、パターン化した基板102上で超格子110の使用は、約158%という大幅な出力の増加をもたらすことも明らかである。これは、超格子110が、パターン化していないサファイア基板に用いられた時の、わずか42%の出力の増加とは対照的である。

40

50

**【0094】**

(参考文献)

以下の参考文献は、参照することにより本明細書にその全体が組み込まれる。

**【0095】**

[1] K . T a d a t o m o 、 H . O k a g a w a 、 Y . O h u c h i 、 T . T s u n e k a w a 、 T . J y o u i c h i 、 Y . I m a d a 、 M . K a t o 、 H . K u d o 、 a n d T . T a g u c h i 、 p h y s . s t a t . s o l . ( a ) 1 8 8 、 N o . 1 、 p p . 1 2 1 - 1 2 5 ( 2 0 0 1 ) 。

**【0096】**

[2] M o t o k a z u Y a m a d a 、 T o m o t s u g u M i t a n i 、 Y u k i o N a r u k a w a 、 S h u j i S h i o j i 、 I s a m u N i k i 、 S h i n y a S o n o b e 、 K o u i c h i r o D e g u c h i 、 M a s a h i k o S a n o 、 a n d T a k a s h i M u k a i 、 J p n . J . A p p l . P h y s . V o l . 4 1 ( 2 0 0 2 ) p p . L 1 4 3 1 - L 1 4 3 3 、 P a r t 2 、 N o . 1 2 B 、 1 5 D e c e m b e r 2 0 0 2 . 10

[3] S h u j i N a k a m u r a 、 T a k a s h i M u k a i 、 M a s a y u k i S e n o h 、 S h i n - i c h i N a g a h a m a 、 a n d N a r u h i t o I w a s a 、 J . A p p l . P h y s . V o l . 7 4 、 N o . 6 ( 1 9 9 3 ) p p . 3 9 1 1 - 3 9 1 5 、 1 5 S e p t e m b e r 1 9 9 3 。

**【0097】**

(結び)

本節は、本発明の好適な実施形態の説明を結ぶものである。本発明の1つ以上の実施形態の上述の説明は、図解および説明のために示したものである。本記述は、本発明を完全なものとすること、または開示された精密な形態に限定することを意図するものではない。上述の教示を考慮すれば、多数の修正および変更が可能である。本発明の範囲は、この詳細な説明によって限定されるのではなく、むしろ本明細書に添付された請求項によって限定されることを意図する。

【図1】

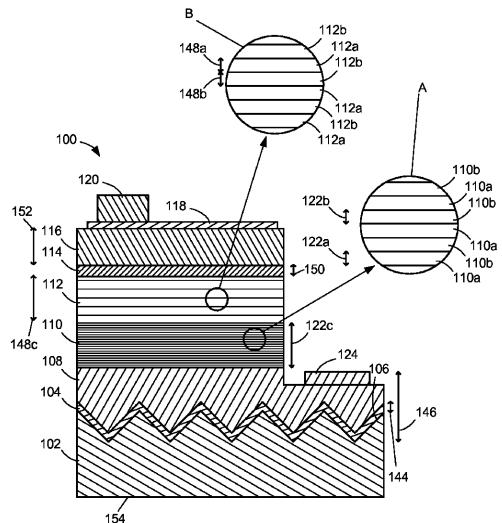


FIG. 1

【図2】

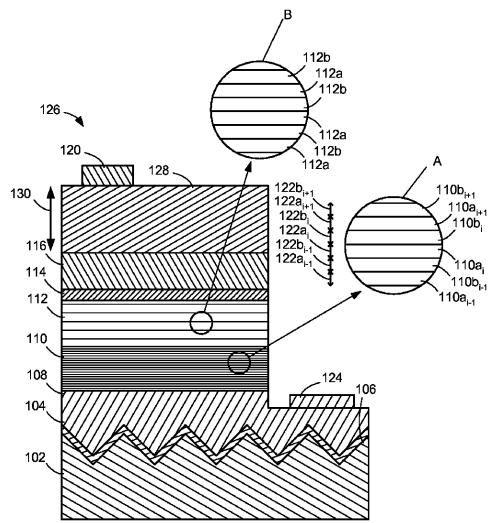


FIG. 2

【図3】

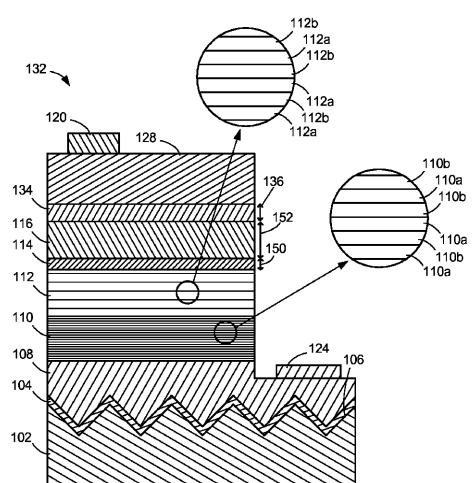


FIG. 3

【図4】

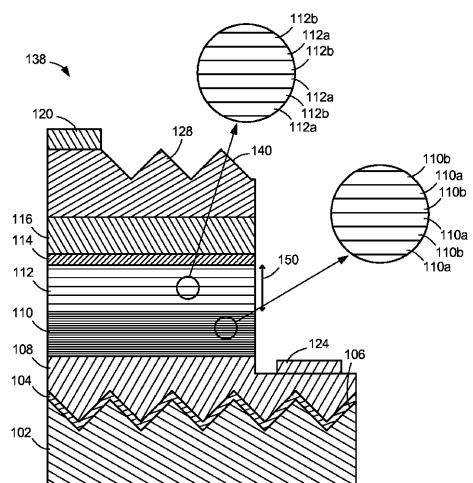


FIG. 4

【図5】

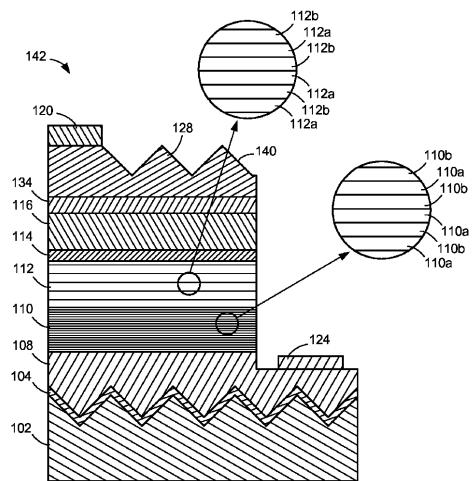


FIG. 5

【図6】

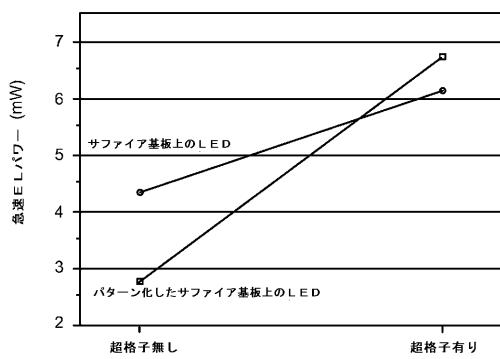


FIG. 6

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 08/77054												
<p><b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b></p> <p>IPC(8) - H01L 21/00, H01L 33/00 (2008.04)            USPC - 438/31; 257/E21.12, 257/14, 257/E33.005            According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>														
<p><b>B. FIELDS SEARCHED</b></p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)            USPC: 438/31; 257/E21.12, 257/14, 257/E33.005            IPC(8): H01L 21/00, H01L 33/00 (2008.04)</p>														
<p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched            USPC: 438/31; 257/E21.12, 257/14, 257/E33.005            IPC(8): H01L 21/00, H01L 33/00 (2008.04) (text delimited)</p>														
<p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)            West: US Pre-Grant Publication Full-Text; US Patents Full-Text; EPO Abstracts; JPO Abstracts, Google            Terms: Light emitting diode (LED), InN, InGaN, AlGaN, GaN, n-type or p-type, doped, ZnO or conducting oxide, sapphire, patterned substrate, MgAlO<sub>4</sub>, SiC</p>														
<p><b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 2006/0006375 A1 (Ou et al.) 12 January 2006 (12.01.2006), Figs 6, 13, para [0011], [0019] and [0033]-[0049]</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2005/0224783 A1 (Matsuyama et al.) 13 October 2005 (13.10.2005), entire document</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 7,084,421 B2 (Koike et al.) 01 August 2006 (01.08.2006), entire document</td> <td>1-15</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 2006/0006375 A1 (Ou et al.) 12 January 2006 (12.01.2006), Figs 6, 13, para [0011], [0019] and [0033]-[0049]	1-15	A	US 2005/0224783 A1 (Matsuyama et al.) 13 October 2005 (13.10.2005), entire document	1-15	A	US 7,084,421 B2 (Koike et al.) 01 August 2006 (01.08.2006), entire document	1-15
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X	US 2006/0006375 A1 (Ou et al.) 12 January 2006 (12.01.2006), Figs 6, 13, para [0011], [0019] and [0033]-[0049]	1-15												
A	US 2005/0224783 A1 (Matsuyama et al.) 13 October 2005 (13.10.2005), entire document	1-15												
A	US 7,084,421 B2 (Koike et al.) 01 August 2006 (01.08.2006), entire document	1-15												
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>														
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>														
Date of the actual completion of the international search  17 November 2008 (17.11.2008)	Date of mailing of the international search report  03 DEC 2008													
Name and mailing address of the ISA/US  Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	Authorized officer:  Lee W. Young  PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT CSP: 571-272-7774													

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,NO,PL,PT,RO,SE,SI,SK,T  
R),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,  
BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,D0,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,K  
G,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT  
,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100113413

弁理士 森下 夏樹

(72)発明者 イザ, マイケル

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93101, サンタ バーバラ, マウンテン アベニュー  
1929

(72)発明者 佐藤 均

神奈川県座間市ひばりが丘3-18-10

(72)発明者 ホワン, イユ ジン

大韓民国 560-241 チョルラブク-ド, チョンジュ-シティー ワンサン-ク ヒヨジ  
ヤ-ドン シー/201

(72)発明者 デンバース, スティーブン ピー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, エルダーベリー ドライブ 283

(72)発明者 ナカムラ, シュウジ

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93160, サンタ バーバラ, ピー.オー. ボックス  
61656

F ターム(参考) 5F041 AA04 CA40 CA65 CA77