

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4713190号  
(P4713190)

(45) 発行日 平成23年6月29日 (2011. 6. 29)

(24) 登録日 平成23年4月1日 (2011. 4. 1)

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| (51) Int. Cl.           | F I                |
| HO 1 L 33/46 (2010. 01) | HO 1 L 33/00 3 1 0 |
| HO 1 L 33/50 (2010. 01) | HO 1 L 33/00 4 1 0 |
| HO 1 L 33/32 (2010. 01) | HO 1 L 33/00 1 8 6 |
| HO 1 S 5/183 (2006. 01) | HO 1 S 5/183       |
| HO 1 S 5/323 (2006. 01) | HO 1 S 5/323 6 1 0 |

請求項の数 13 (全 16 頁)

|              |                               |           |                       |
|--------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2005-82235 (P2005-82235)    | (73) 特許権者 | 500507009             |
| (22) 出願日     | 平成17年3月22日 (2005. 3. 22)      |           | フィリップス ルミレズ ライティング    |
| (65) 公開番号    | 特開2005-268809 (P2005-268809A) |           | カンパニー リミテッド ライアビリテ    |
| (43) 公開日     | 平成17年9月29日 (2005. 9. 29)      |           | ィ カンパニー               |
| 審査請求日        | 平成20年3月12日 (2008. 3. 12)      |           | アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5  |
| (31) 優先権主張番号 | 10/805424                     |           | 1 3 1 サン ホセ ウェスト トリンブ |
| (32) 優先日     | 平成16年3月19日 (2004. 3. 19)      |           | ル ロード 3 7 0           |
| (33) 優先権主張国  | 米国 (US)                       | (74) 代理人  | 100082005             |
|              |                               |           | 弁理士 熊倉 禎男             |
|              |                               | (74) 代理人  | 100067013             |
|              |                               |           | 弁理士 大塚 文昭             |
|              |                               | (74) 代理人  | 100074228             |
|              |                               |           | 弁理士 今城 俊夫             |
|              |                               | (74) 代理人  | 100086771             |
|              |                               |           | 弁理士 西島 孝喜             |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面内発光層を含む半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

順方向バイアスされたときに少なくとも 5 0 % 偏光された光を放出するように構成された、n 型領域と p 型領域との間に挟まれた活性領域を含むエピタキシャル構造体と、

前記活性領域によって放出された光の経路内に配置され、前記活性領域によって放出された光の大部分の偏光を透過するように配向される偏光子と、  
を備え、

波長変換材料を更に含み、前記偏光子は前記エピタキシャル構造体と前記波長変換材料との間に配置される構造体。

【請求項 2】

前記活性領域は、順方向バイアスされたときに少なくとも 8 0 % 偏光される光を放出するように構成される請求項 1 に記載の構造体。

【請求項 3】

前記活性領域は、

{120}

In Ga N の少なくとも 1 つの層を含む請求項 1 に記載の構造体。

【請求項 4】

前記活性領域は、

$\{0\bar{1}0\}$ 

InGaNの少なくとも1つの層を含む請求項1に記載の構造体。

【請求項5】

前記エピタキシャル構造体に結合されたホスト基板を更に含み、前記偏光子は均等に間隔を置いて配置された平行する複数の金属列を含む請求項1に記載の構造体。

【請求項6】

前記金属列の各々は、10nmと1000nm厚の間であり、前記金属列は10nmと1000nm間隔で配置される請求項5に記載の構造体。

【請求項7】

前記金属列の各々は、50nmと80nm厚の間であり、前記金属列は100nmと200nm間隔で配置される請求項5に記載の構造体。

【請求項8】

前記均等に間隔を置いて平行に配置された金属列は、金、銀、アルミニウム、及びロジウム、の少なくとも1つを含む請求項5に記載の構造体。

【請求項9】

前記p型領域と前記ホスト基板との間に配置された反射性接点を更に含み、前記偏光子は前記n型領域上に配置され、前記n型領域に対する電気接点を形成する請求項5に記載の構造体。

【請求項10】

前記n型領域、p型領域、及び活性領域の合計厚みは、0.1と1ミクロンの間である請求項9に記載の構造体。

【請求項11】

順方向バイアスされたときに少なくとも50%偏光された光を放出するように構成された、第1のn型領域と第1のp型領域との間に挟まれた第1の活性領域を含む第1のエピタキシャル構造体と、

順方向バイアスされたときに少なくとも50%偏光された光を放出するように構成された、第2のn型領域と第2のp型領域との間に挟まれた第2の活性領域を含む第2のエピタキシャル構造体と、

前記第1のエピタキシャル構造体と前記第2のエピタキシャル構造体との間に配置され、前記第1の活性領域によって放出された光の大部分の偏光を透過するように配向され、前記第2の活性領域によって放出された光の大部分の偏光を反射するように配向される偏光子と、  
を備えた構造体。

【請求項12】

前記第1の活性領域及び前記第2の活性領域は、同色の光を放出する請求項11に記載の構造体。

【請求項13】

前記第1の活性領域及び前記第2の活性領域は、異なる色の光を放出する請求項11に記載の構造体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は偏光を放出する半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

発光ダイオード(LED)、共振キャビティ発光ダイオード(RCLED)、垂直キャビティレーザダイオード(VCSL)、及び端面発光レーザを含む半導体発光素子は、とりわけ現在利用可能な最も効率的な光源である。可視スペクトルにわたって動作可能な高輝度発光素子の製造において現在興味深い材料系は、特にガリウム、アルミニウム、イ

10

20

30

40

50

ンジウム、及び窒素の二元、三元、及び四元合金といったⅢ－Ⅴ族半導体を含み、Ⅲ族窒化物材料とも呼ばれる。典型的には、Ⅲ族窒化物発光素子は、異なる組成及びドーパント濃度の半導体層の積層を有機金属化学気相成長法（MOCVD）、分子線エピタキシ（MBE）、又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、Ⅲ族窒化物、又は他の適切な基板上にエピタキシャル成長させることによって製造される。この積層は、多くの場合、例えば、基板を覆って形成されるSiがドーパされた1つ又はそれ以上のn型層と、その1つ又はそれ以上のn型層を覆って形成された発光領域又は活性領域と、例えば、その活性領域を覆って形成されるMgがドーパされた1つ又はそれ以上のp型層とを含む。1つの部類のUVから緑色までの発光ダイオード又は短波長レーザ・ダイオードは、InGa<sub>1-x</sub>N/GaN又はInGa<sub>1-x</sub>N/InGa<sub>1-x</sub>N歪み量子井戸を用いて、該量子井戸を挟んでいるn型領域とp型領域とから注入された電子と正孔とが再結合することにより光が発生する。

10

【0003】

【特許文献1】米国特許出願番号（代理人整理番号LUM-03-05-01）公報

【特許文献2】米国特許出願番号第10/059,588号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

多くのⅢ族窒化物素子においては、結晶構造は、量子井戸の面内の2つの等価結晶軸、及び量子井戸に垂直な第三結晶軸である

20

<0001>

軸を備えたウルツ鉱型である。このような素子から放出された光は、正味偏光が無いように観察され、すなわち、このような素子の活性領域中の任意の点（原子、分子、又は電子－正孔ペア）は、ランダムで且つ極めて迅速に（通常10ナノ秒未満）時間変動する偏光方向で発光するように観察される結果、正味偏光は長い時間スケールわたっては観察されないことを意味する。このような従来の構造は、ランダムに偏光された光を放出するといわれている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

30

本発明の実施形態によれば、半導体発光素子は、層面にほぼ平行な

<0001>

軸を有するウルツ鉱型結晶構造を有する平面活性領域（面内偏光活性領域と呼ばれる）を含む。この面内偏光活性領域は、例えば、

$\{1\bar{2}0\}$

又は

$\{0\bar{1}0\}$

40

InGa<sub>1-x</sub>N発光層を含むことができる。放出された光偏光方向は、

<0001>

軸に垂直で且つ量子井戸に平行であり、従って、放出された光の多くは、単一直線偏光状態のものである。幾つかの実施形態においては、ワイヤグリッド接点は、活性領域から放出された光の大部分の偏光を透過又は反射するように配向された偏光子として機能する。幾つかの実施形態においては、同一又は異なる有色光を放出する二つの活性領域は、下部活性領域によって放出された偏光を透過し、上部活性領域によって放出された交差偏光を反射するように配向された偏光子によって隔てられる。幾つかの実施形態においては、偏

50

光子は、波長変換層によって散乱された光を反射する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

図1は、ウルツ鉱型結晶GaN構造を示す。III族窒化物素子は、サファイア基板の{0001}

又はc面上に成長させる場合が多く、これはこのような基板が広く利用可能であり、取り扱いが容易であることに起因する。結果として得られるIII族窒化物層は、活性領域中に1つ又は複数の発光層を含み、典型的には

{0001}

10

層であり、この

<0001>

軸は、III族窒化物層の面に垂直であることを意味する。このような活性領域によって放出された光は通常、外部から測定されたときに結晶に対してどのような偏光選択も示さない。

本発明の実施形態によれば、III族窒化物発光素子は、結晶

<0001>

20

方向がIII族窒化物発光層の面にほぼ平行であるように成長する。このような素子により放出される光は、少なくとも部分的に直線偏光することができる。1つ又は複数のIII族窒化物発光層の面に平行な

<0001>

方向を有する素子又は結晶層は、c軸が素子の各層に平行か又は各層の面内にあるので、以下「面内」もしくは「面内偏光された」素子又は層と呼ぶ。幾つかの実施形態においては、III族窒化物素子の活性領域内の1つ又は複数の発光層は、四元合金 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )の

<10 $\bar{1}$ 0>

30

又は

<11 $\bar{2}$ 0>

層である。

【0007】

面内発光層を有する素子は、面内成長基板上に素子層を成長させることによって製造することができる。面内活性領域の成長に適切な基板の例としては、2H、4H、又は6HポリタイプのSiCの

{01 $\bar{0}$ }

40

及び

{1 $\bar{2}$ 0}

表面；サファイアの

{01 $\bar{2}$ }

表面；及び $\gamma\text{-LiAlO}_2$ の

{100}

50

表面が含まれる。S i C基板の場合、堆積 I I I 族窒化物薄膜の配向は、基板の配向と一致する。有機金属化学気相成長技術を使用する場合、面内 I I I 族窒化物層を堆積させるプロセスは、

<0001>

I I I 族窒化物層を

<0001>

S i C基板上に堆積させるのに使用されるプロセスと類似のものである。A l G a Nのバッファ層は、高温（～1100℃）で直接S i C基板上に堆積する。G a N層はA l G a Nバッファ層上に堆積する。発光A l I n G a N量子井戸はG a N層上に堆積する。

10

【0008】

$\{\bar{1}012\}$

面を有するサファイア基板の場合、堆積 I I I 族窒化物薄膜は、

<1120>

方向に配向される。有機金属化学気相成長技術を使用する場合、面内 I I I 族窒化物層を堆積させるプロセスは、

<0001>

20

サファイア基板上に

<0001>

I I I 族窒化物層を堆積させるのに使用されるプロセスと類似のものである。I I I 族窒化物バッファ層は低温（～550℃）で直接サファイア基板上に堆積する。G a Nの層はI I I 族窒化物バッファ層上に堆積する。発光A l I n G a N量子井戸は、G a N層上に堆積する。

【0009】

<100>

30

$\gamma$ -L i A l O<sub>2</sub>基板の場合、堆積 I I I 族窒化物薄膜は、

<10 $\bar{1}$ 0>

方向に配向される。分子線エピタキシによって面内 I I I 族窒化物層を堆積させるプロセスは、低温（～550℃）でI I I 族窒化物バッファ層を直接基板上に堆積させる段階と、その後高温で成長したG a Nの層を堆積させる段階とからなる。発光A l I n G a N量子井戸はG a N層上に堆積する。

【0010】

発明者らは、

$\{\bar{1}010\}$

40

S i C及び

$\{\bar{1}012\}$

サファイア上に成長したI I I 族窒化物フォトルミネセンス試験構造体を準備した。475nmで発光するように試験構造を396nmレーザで励起させると、

$\{\bar{1}010\}$

S i C素子からの光は、約90%を超えて偏光され、また、

50

$\{0\bar{1}2\}$

サファイア素子からの光は、約 80 % が偏光された。この試験構造体を電氣的に励起させると、

$\{010\}$

SiC 素子からの光は、70 – 80 % が偏光された。偏光パーセントは、以下のように定義される。

$$\frac{|I_p - I_s|}{I_p + I_s} \times 100\%$$

10

上式で、 $I_p$  及び  $I_s$  は、垂直偏光及び水平偏光された光の強度である。本発明の実施形態は、少なくとも 50 % 偏光された光を放出する素子を含むことができる。非偏光は、極めて多数の個々の原子、分子、又は電子－正孔ペアからの極めて多数のフォトン放出からなる。各フォトン、ランダムであるが、一定の偏光方向を有するようになり、連続するこのようなフォトン、場合によっては毎秒 1 億を超える極めて高速で放出されるようになる。非偏光では、各原子、分子、又は電子－正孔ペアの偏光合計は、1 億分の 1 秒よりもはるかに大きなタイムスケールにわたってサンプリングすると合計でゼロになる。従って、非偏光は 0 % 偏光である。

【0011】

20

以下で説明する実施形態は、面内発光層から放出された直線偏光を利用するものである。図 2～図 5 は、面内活性領域と偏光子とを組み合わせた素子を示しており、該偏光子は、活性領域によって放出された光の偏光に対する偏光子の配向に応じて透過性又は反射性の電気接点として機能することができる。図 6 及び図 7 は、面内活性領域を組み込んだ光結晶素子を示す。図 8 及び図 10 は、垂直キャビティ面発光レーザ及び面内活性領域を組み込んだ端面発光レーザを示す。図 9 A 及び 9 B は、面内活性領域と、散乱面又は複屈折層などの偏光切換面を含む素子を示す。

【0012】

図 2 及び図 3 は、面内発光層及び偏光子を含む、本発明の第 1 の実施形態の断面図と平面図である。面内活性領域 4 は、n 型領域 2 及び p 型領域 6 の間に挟まれている。n 型領域 2、活性領域 4、及び p 型領域 6 のそれぞれは、組成、ドーパント濃度、及び厚みが異なる複数の層を含むことができる。活性領域 4 は、障壁層によって隔てられた複数の量子井戸を含むことができる。反射性接点 8 は、エピタキシャル領域 2、4、及び 6 をホスト基板 10 に取り付ける。接点 8 は、例えば、オーミックコンタクト層、銀などの反射性層、保護層、及びエピタキシャル構造体をホスト基板に結合するためのボンディング層を含むことができる。光は、n 型領域 2 を通って素子から取り出される。

30

【0013】

偏光子 12 は、n 型領域 2 上に形成される。図 2 に示された偏光子は、ワイヤグリッド偏光子である。ワイヤグリッド偏光子は、ワイヤに平行な偏光のフォトンを反射し、ワイヤに垂直な偏光のフォトン透過する。偏光子 12 は、活性領域 4 によって放出された偏光のフォトン透過し、逆位相の偏光の任意のフォトン反射するように配向される。ワイヤグリッド偏光子におけるワイヤの周期性を素子の発光波長に対して最適化することができ、結果として高い反射効率が得られる。ワイヤの間隙及び厚みは、素子によって放出された光の波長に依存することができる。ワイヤの厚みは、約 10 nm から約 1000 nm の間とすることができ、通常は約 50 nm から約 80 nm である。ワイヤの間隔は、約 10 nm と約 1000 nm を隔てることができ、通常は約 100 nm から約 200 nm 間隔である。ワイヤは、例えば、オーミック層、反射性層、保護層、及びボンディング層の 1 つ又はそれ以上を含む、例えば単一層もしくは多層金属構造体とすることができる。好適な材料の例には、銀、アルミニウム、金、及びロジウムが含まれる。上述の範囲内にある寸法の市販のワイヤグリッド偏光子は、400～600 nm の範囲にわたる波長を有す

40

50

る光に対して偏光選択性を有することが分かっている。ワイヤグリッド偏光子の適切な配向は、素子の構造に基づいて選択するか、あるいは素子によって放出された光の偏光を計測することによって選択することができる。

#### 【0014】

図2に示された実施形態においては、ワイヤグリッド偏光子12は、n型領域2に対する接点として機能する。この接点は、ワイヤグリッド偏光子12に電氣的に接続されたパッドを形成することによって完成することができ、該パッドは、例えば、サブマウント又はワイヤボンディングに対する結合に好適である。活性領域によって放出された偏光を透過するよう配向された偏光子を使用すると、活性領域によって放出された光に対して透過性の接点が結果として得られ、素子の取り出し効率を低下させることになる、該接点による光の任意の吸収が低減される。幾つかの実施形態においては、インジウム・スズ酸化物などの電流拡散層を半導体層（図2のn型領域2）と偏光子との間に配置することができる。

10

#### 【0015】

他の実施形態においては、ワイヤグリッド偏光子は、p型領域6に対する接点として機能することができる。このような実施形態においては、ワイヤグリッド偏光子は、素子に対して薄いエピタキシャル層を使用できるようにする。例えば、領域2、4、及び6の合計の厚みは、約0.1ミクロン厚とすることができる。エピタキシャル構造体の薄層化は、素子からの光の取り出しを向上させる。エピタキシャル構造体の厚みが減少すると、p型領域6における電流拡散距離が減少し、大面積をカバーするp接点を必要とし、あるいは近接した格子又はフィンガーのp接点を必要とする。p接点が光を吸収する場合には、薄い素子において必要とされる大面積又は近接したフィンガーは、有意な光の量を吸収する可能性があり、素子の効率を減少させる。面内偏光活性領域及びp接点としてワイヤグリッド偏光子を使用すると、素子に十分な電流を与えるに足りるほど近接しているが、活性領域によって放出される光に対しては透過性があるフィンガーを備えた接点を有する素子が得られることになる。従って、面内活性領域は、光の取り出しを犠牲にすることなく、より薄い素子の形成を可能とすることができる。

20

#### 【0016】

図2に示された素子は、成長基板上にエピタキシャル領域2、4、及び6を成長させ、接点8を堆積させて、次いでこのエピタキシャル構造体をホスト基板10に結合することによって製造される。成長基板はその後、例えば、サファイア基板の場合にはレーザ剥離により、あるいはSiC基板の場合にはエッチングによって除去することができる。成長基板を除去した後、このエピタキシャル構造体を所望の厚みにまで薄くすることができる。基板を除去することによるIII族窒化物素子の製造は、2004年3月19日出願された出願番号（代理人整理番号LUM-03-05-01）に更に詳細に説明されており、引用により本明細書に組み込まれる。

30

#### 【0017】

偏光子12は、ホスト基板ウエハからチップを個々に分割する段階の前の最終処理段階として形成されることが多い。ワイヤグリッド偏光子は、以下の方法によって形成することができる。すなわち、金属の層をウエハ上に堆積させ、次いで、例えば金属を覆ってフォトレジストの層を堆積させ、次に、例えば、予め形成されているワイヤグリッド偏光子を備えたフォトマスクを通して短波長の光を照射すること、又は2つのレーザビームからの干渉縞を用いてフォトレジストへの強度が変化する光線のアレイを投射すること、あるいは電子ビームによりワイヤグリッド偏光子パターンをフォトレジスト上に描くことなどの、フォトレジストを放射線に露光することによるパターン形成によってパターンを形成する。フォトレジストを露光すると、これを現像し洗浄して、金属層上に残留するフォトレジストのラインが得られる。フォトレジストの代わりとして、所望のパターンの反転パターンが含まれたマスタースタンプを用いてワイヤグリッド偏光子パターンをポリマー層にインプリントすることができる。露光された金属層は、化学薬品（湿式エッチング）、反応性イオンビーム（RIE）、プラズマ強化反応性イオンビーム、誘導結合プラズマ（

40

50

ICP)、又は当該技術分野で公知の他の適切な技術によってエッチング処理される。このようにして、残留しているフォトレジスト又はポリマーをウエハから化学的に除去することができ、図3に示すように間隔16によって離隔され、平行で均一に間隔を置いて配置された金属ライン14のパターンがウエハ上に得られる。

#### 【0018】

図4は、面内発光層及び偏光子を含む本発明の第2の実施形態を示す。2つのエピタキシャル構造体3a及び3bは、積み重ねられ、電気接点及びエピタキシャル構造体3aと3bとの間のボンディング層として機能することができる偏光子12によって隔てられている。偏光子12は、ワイヤグリッド偏光子とすることができる。2つの活性領域4a及び4bは、直交偏光の光を放出する。下側エピタキシャル構造体3aは、反射性接点8によってホスト基板10に結合される。両方の活性領域からの光は、第2のエピタキシャル構造体3bのn型領域2bの上部を通して素子から取り出される。偏光子12の構造及び配向は、下側活性領域4aから放出された偏光が透過され、上側活性領域4bから放出された偏光が反射されるように選択される。

#### 【0019】

光線20、22、24、及び26は、図4の素子の動作を示している。活性領域4aは主として偏光pの光子を放出する。活性領域4bは主として、偏光sの光子を放出する。偏光子12は、偏光pの光子を透過し、偏光sの光子を反射する。光線20は、活性領域4aによって下方へ接点8に向けて放出される。光線20は、接点8によって反射され、偏光子12に入射する。光線20は偏光pを有するので、偏光子12によって透過され、素子の上面を通して出る。光線22は、活性領域4aによって偏光子12に向けて放出され、この光線22はp偏光されているので偏光子12によって透過されて、素子の上面を通して出る。光線24は、活性領域4bによって下方へ偏光子12に向けて放出される。光線24は、s偏光されているので、偏光子12によって反射され、素子の上面を通して出る。光線26は、活性領域4bによって素子の上面に向けて放出され、該上面を通して出る。従って、偏光子12は、上部エピタキシャル構造体3bによって下方へ放出された光が下部エピタキシャル構造体3aによって吸収されるのを防ぐ。活性領域4aによって放出された光は、活性領域4bによって放出された光に直交する偏光を有するので、活性領域4bは、活性領域4aからの光を吸収せずにエピタキシャル構造体3bを通過する。所与の素子の占有面積では、図4に示された素子は、単一活性領域を備えた素子を上回る大きな光出力を提供することができる。幾つかの実施形態においては、この2つの活性領域4a及び4bは、異なる波長の光を放出することができる。素子によって放出された光が結合されて白色に見えるように、波長を選択することができる。幾つかの実施形態においては、この2つのエピタキシャル構造体3a及び3bは、異なる材料系で形成して、利用可能な波長範囲を増大させることができる。

#### 【0020】

図4に示された素子は、n型領域2a、活性領域4a、及びp型領域6aを成長基板上に成長させ、次いで、例えばオーミック接触層、反射性層、障壁層、及びボンディング層を含むことができる接点8をp型領域6aの表面上に形成することによって製造することができる。次に、エピタキシャル構造体3aがホスト基板10に結合され、また、成長基板が除去される。次いで、成長基板の除去によって露出されたn型領域2aの表面上に偏光子12が形成される。偏光子12は、エピタキシャル構造体3aとエピタキシャル構造体3bとの間の電気接点及びボンディング層として機能することができ、あるいは、別の金属又は高導電性層をn型領域2aの表面上に形成して、エピタキシャル構造体3a及び3b間のボンディング層及び電気接点として機能させることができる。偏光子12は、結合に好適な、銀などの軟質金属で形成することができる。第2のエピタキシャル構造体は、n型領域2b、活性領域4b、及びp型領域6bを成長基板上に成長させ、次いで、n型領域6bの表面が偏光子12に面するようにエピタキシャル構造体を偏光子12に結合することによって形成される。次に、第2の成長基板を除去し、第2の接点18をn型領域2bの露出した表面上に形成することができる。図4に示された実施形態は直列に接続

された2つのダイオードを示しているが、並列に接続された2つのダイオードなどの他の電氣的配列も可能である。

#### 【0021】

図5は、面内発光層及び偏光子を含む本発明の第3の実施形態を示す。N型領域2、面内活性領域4、及びp型領域6が、成長基板30上に成長される。n接点及びp接点（図示せず）は両方とも、成長基板の反対側になるエピタキシャル構造体の面上に形成され、n接点はn型領域2の部分を露出するように活性領域4及びp型領域6の一部をエッチングして除去することによって形成される。光は、成長基板30を通して素子から取り出される。偏光子12（例えばワイヤグリッド偏光子）は、成長基板30の表面上に形成される。偏光子12は、活性領域4によって放出された偏光を透過し、逆位相偏光の光を反射するように構成及び配向される。波長変換材料32は、素子から放出された光の経路内に配置される。波長変換材料32は、例えばステンシル又は電気泳動析出によって基板30上に共形に堆積され、又は基板30を覆って堆積された充填材料内に配置され、あるいはエピタキシャル構造体を覆うレンズ又はカバー34を形成する材料の表面上又は材料内部を被覆することができる。

10

#### 【0022】

波長変換材料32は、活性領域によって放出された光を吸収して異なる波長の光を再放出する蛍光体又は色素などの蛍光材料とすることができる。波長変換材料32は、あらゆる方向に光を放出し、すなわち、波長変換材料32によって放出された光の有意な部分が成長基板30に向けて放出されることを意味する。波長変換材料32によって放出された光は非偏光である。従って、波長変換材料32によって基板30に向けて放出された光の半分は、偏光子12によって透過され、半分は反射されることになる。対照的に、従来素子においては、基板に向けて放出された光の大部分は、成長基板30又はエピタキシャル構造体3によって吸収され、素子の取り出し効率が低下する。光線36はこの動作を示している。光36は、偏光子12が透過する偏光を有して活性領域6から放出される。光36は波長変換材料32上に入射し、そこで光が吸収され、非偏光の波長が変換された光として基板30に向けて放出される。光36が偏光子12上に入射すると、一部は波長変換層32に向けて反射して戻され、そこでは光は別の機会に素子を出る。一部は成長基板30に透過され、そこで光が吸収されるか、場合によっては別の機会に素子を出るように反射される。

20

30

#### 【0023】

図5に示された素子は、成長基板を保持しているフリップ・チップ素子であるが、図2に示されたように成長基板が除去された薄い素子を含む他のタイプの素子であっても偏光子及び波長変換層を結合することができる。

#### 【0024】

図6は、光結晶及び面内活性領域を含む素子の断面図である。光結晶40は、メサ44によって隔てられた複数の孔42からなる格子をエピタキシャル構造体3のn型領域2中に形成することによって生成される。この複数の孔からなる格子は、周期的に変調された誘電率を有する媒体を生成し、媒体を通して光が伝播する進路に影響を与える。発光ダイオードの光子は、光子のエネルギーと波長との間の関係を表すこれらのスペクトル又は分散関係によって特徴付けることができる。この関係は図示することができ、バンドギャップによって隔てられたエネルギーバンド又はフォトニックバンドからなるフォトニックバンド図をもたらし、フォトニックバンド図は、電子バンド図で表現された結晶格子中の電子のスペクトルに類似するが、フォトニックバンド図は電子バンド図とは無関係である。光結晶がIII族窒化物LED中に形成されると、該光結晶は、光が構造体中をどのように伝播するかに影響を及ぼす。従って、適切な格子間隔が選択される場合、他の場合では全反射によって構造体内に閉じこめられていたはずの光が出ることができ、LEDの取り出しが増大する。同様に、別の格子は、LED構造体中のフォトンモード体積を減少させることができ、LED活性層の放射率又は内部効率を増大させる。

40

#### 【0025】

50

n 接点 4 6 は、光結晶で凹凸が付けられていない n 型領域 2 の領域上に形成することができるが、他の実施形態においては、n 接点 4 6 を n 型領域 2 の光結晶領域上に形成してもよい。光結晶は n 型領域中に形成されるので、（高導電性の）n 型材料は、接点 4 6 から光結晶 4 0 に電流を横方向に注入することができる。光は、光結晶 4 0 を通って素子から取り出され、従って、n 接点 4 6 の配列は、光結晶の面積を最大にするように選択される。例えば、n 接点 4 6 は、光結晶領域 4 0 を取り囲むことができる。n 接点 4 6 は、リング状接点に限定されず、同様に適切な電流拡散を促進する格子又は他の構造とすることができる。n 接点 4 6 による光の吸収を防止するため、n 接点 4 6 の下のエピタキシャル材料上での埋め込みを行い、該面積に電流が流れて光が発生することを回避することができる。反射性 p 接点 8 は、p 型領域 6 上に形成される。p 接点 8 は、エピタキシャル構造体 3 を直接又は任意選択のボンディング層を介してホスト基板 1 0 に接続する。エピタキシャル構造体 3 の反対側のホスト基板 1 0 面上に任意選択の接点（図示せず）を形成してもよい。

10

#### 【0026】

光結晶構造体は、最大と最小が交互に周期的に変動する n 型領域 2 の厚みを含むことができる。1 つの実施例は、グレーティング（一次元格子）又は上述の孔 4 2 からなる平面格子（二次元格子）である。格子は、孔の直径  $d$ 、最近傍孔の中心間距離を測定する格子定数  $a$ 、孔の深さ  $w$ 、及び、孔中に配置された誘電体の誘電率  $\epsilon_h$  によって特徴付けられる。パラメータ  $a$ 、 $d$ 、 $w$ 、及び  $\epsilon_h$  は、バンドの状態密度、詳細には、光結晶のスペクトルのバンドエッジにおける状態密度に影響を与える。従って、パラメータ  $a$ 、 $d$ 、 $w$ 、及び  $\epsilon_h$  は、素子によって放出された放射パターンに影響を及ぼし、素子からの取り出し効率を高めるように選択することができる。

20

#### 【0027】

孔 4 2 は、三角形、正方形、六角形、ハニカム形、又は他の公知の二次元格子形式を形成するように配置することができる。幾つかの実施形態においては、素子の異なる領域中には異なる格子形式が形成される。孔 4 2 は、円形、正方形、六角形、又は他の断面を有することができる。幾つかの実施形態においては、格子間隔  $a$  は、約  $0.1\lambda$  と約  $10\lambda$  の間、好ましくは約  $0.1\lambda$  と約  $4\lambda$  の間（ $\lambda$  は、活性領域によって放出された光の素子中の波長）である。幾つかの実施形態においては、孔 4 2 は、約  $0.1a$  と約  $0.5a$ （ $a$  は格子定数）の間の直径  $d$  を有することができる。孔 4 2 は、空気又は多くの場合誘電率  $\epsilon_h$  が約 1 と約 16 の間である任意選択の誘電体（図示せず）で充填することができる。可能な誘電体は酸化ケイ素を含む。

30

#### 【0028】

面内活性領域を使用すると、光結晶 4 0 の構造を簡素化することができる。従来の活性領域は、全ての偏光の光を放出し、光の全ての偏光に対するバンドギャップを有する光結晶構造体を必要とする。偏光を放出する面内活性領域を使用すると、活性領域から放出される光の偏光以外には光の偏光を制御する必要がないので、はるかに簡単な格子を使用可能とすることができる。従って、同じ素子性能を達成するためには、製造が難しい三角格子又は六角格子ではなく、簡単な線格子又は正方格子であることが、面内活性領域素子に対して必要とされる最も重要なことである。

40

#### 【0029】

幾つかの実施形態においては、光結晶 4 0 は、薄いエピタキシャル構造を有する素子上に形成される。キャビティが薄くなるほど、導波モードが少なくなり、これは、厚みが減少するにつれてより多くの光が素子から放出されることを意味する。エピタキシャル構造体 3 の厚みは、エピタキシャル層が導波モード数を削減するために可能な限り薄い、電流を効率的に拡散させる上では十分に厚いように選択される。多くの実施形態においては、エピタキシャル構造体 3 の厚みは、約  $1\mu\text{m}$  未満である。

#### 【0030】

幾つかの実施形態においては、エピタキシャル構造体 3 の厚みは約  $\lambda$  と約  $5\lambda$  の間であり、 $450\text{nm}$  光を放出する素子では約  $0.18\mu\text{m}$  と約  $0.94\mu\text{m}$  の間となる。孔 4

50

2は、約 $0.05\lambda$ とn型領域2の全厚みの間の深さを有する。一般に、孔42は、完全にn型領域2内に形成され、活性領域へは貫通しない。N型領域2は通常、約0.1ミクロン以上の厚みを有する。一般に、孔42の深さは、孔42の底部を活性領域に入ることなく可能な限り活性領域に近接して設置するように選択される。

#### 【0031】

素子から放出された放射パターンは、格子タイプ、活性領域と光結晶との間の距離、格子パラメータa、直径d、及び深さwを変えることによって調整することができる。格子パラメータa及び直径dは、図7に示された正方格子中に示されている。幾つかの実施形態においては、放射パターンは、選択された方向に優先的に光を放出するように調整することができる。

10

#### 【0032】

図6に示された素子においては、光結晶40は、n型領域2内に完全に含まれる。他の実施形態においては、光結晶40は、p型領域6中に形成することができ、あるいは、p型領域6又はn型領域2の何れかから活性領域4中又は活性領域を通して延びることができる。このような実施形態においては、面内活性領域で可能とすることができるこの簡素化された光結晶構造体は、結晶に損傷を与え且つ素子性能を低下させる可能性のある、光結晶を形成するためにエッチングして除去される活性領域の量及びp型領域内でなされたエッチングの量を制限することによって、素子性能を更に改善することができる。図6は素子表面上の光結晶40を示しているが、他の実施形態においては、光結晶40は、素子の表面上ではない領域中に形成することができる。このような実施形態においては、埋設された光結晶を活性領域の片側に形成することができ、図2に示された素子におけるような、偏光子として機能する接点は、素子表面上の活性領域の反対側上に形成することができる。

20

#### 【0033】

III族窒化物光結晶発光素子は、2002年1月28日に出願された出願番号第10/059,588号の「LED Efficiency Using Photonic Crystal Structure」、及び2004年3月19日に出願された出願番号（代理人整理番号LUM-03-05-01号）において更に詳細に説明されており、これらの特許の両方は、引用により本明細書に組み込まれる。

#### 【0034】

図8は、面内活性領域を組み込んだ垂直キャビティ面発光レーザ（VCSEL）の断面図である。活性領域4は、p型領域6と第1のn型領域2aとの間に挟まれている。トンネル接合53は、p型領域6を第2のn型領域2bと分離する。キャビティは、2つのミラー51及び52によって形成され、これらは例えば、誘電分布されたブラッグ反射器（DBR）とすることができる。このキャビティは、n型領域2bとホスト10との間に配置される接点8によってホスト基板10に接続される。第2の接点18は、n型領域2a上に形成される。層2a、2b、4、及び6の部分は、ミラー51と52の間の領域内に電流を閉じ込めるために水素を注入することができる。

30

#### 【0035】

VCSELは、レーザ発振モードに対して光学的損失よりも大きな光学的利得を提供する適正な反転分布を必要とする。望ましいキャビティモードへの誘導放出以外のあらゆる再結合プロセスは、反転分布を減損させて効率を制限する傾向にある。VCSELに特有の極めて短いキャビティの場合において、望ましくないモードの1つの例は、望ましいレーザ発振モードに対して縮退しているが直交偏光されているモードである。単一偏光で光を放出する面内活性層は、発振閾値を下回って動作している場合には、この直交偏光モードを支持しようとはせず、従って、発振閾値に到達するのに注入キャリアを殆ど必要としないことになる。更に、面内活性領域を組み込んだVCSELは、特定偏光の光を必要とするディスプレイなどの多くの用途に対して問題のある偏光「フリップ」を示す可能性がない。

40

#### 【0036】

50

V C S E Lを形成するために、ミラー51及び52は、高度に反射性があり、すなわち99%を超える反射性がなければならない。幾つかの実施形態においては、図8の素子は、共振キャビティ型素子とすることができ、この場合1つ又は両方のミラーは、V C S E Lで必要とされるよりも反射性が低い。ミラーは、共振キャビティ型素子に対してはV C S E Lと同程度の反射性がある必要はないので、共振キャビティ型素子においては、ミラー52として図8に示されたD B Rを金属ミラーと置き換えることができる。金属ミラーは導電性であるので、金属ミラー52を備えた素子においては、n型領域2b及びトンネル接合53は図8の素子から除外することができる。好適な金属の例には、例えば、銀、金、アルミニウム、及びロジウムが含まれる。

#### 【0037】

10

図8を参照して上記で説明されたレーザ構造内に面内活性領域を使用する利点により、図10に示されたレーザ・ダイオードなどの端面発光レーザ・ダイオードに対しても同様に適用することができる。図10の素子においては、エピタキシャル層は、成長基板60上に成長され、次いで、その積層をエッチングして、垂直壁が導波路をもたらすリッジ構造体を形成する。平行ミラー63は、導波路の端部を劈開又はエッチングして反射面を設けることによって形成される。n接点62及びp接点65で構造体が完成する。

#### 【0038】

図9A及び図9Bは、面内活性領域および偏光切換面を含む素子を示す。図9Aの素子は、偏光回転層66を含む。図9Bの素子は、偏光ランダム化層68を含む。図9A及び9Bに示された素子は、フリップ・チップ素子であり、ここで、n型領域2、活性領域4、及びp型領域6は、成長基板60上に形成される。p型領域及び活性領域の一部は、n型領域の一部を露出するようにエッチングして除去され、n型領域の上にはn接点62が堆積される。光は、成長基板60を通して素子から取り出される。

20

#### 【0039】

結晶表面に対して法線をなす結晶  
<0001>

軸を備えた従来のI I I族窒化物素子においては、I I I族窒化物層の吸収は、入射光の偏光には無関係である。従って、活性領域によって放出された光子は、その偏光に関係なく活性領域において再吸収される均等な機会がある。再吸収の大部分は、光子が半導体-空気界面、又は半導体-成長基板界面で全反射されることによって生じるものである。このような光子は、素子を出る別の機会に遭遇する前に素子を通して「案内」されて、活性領域を通り抜けなければならない。

30

#### 【0040】

図9A及び図9Bに示された素子のような面内活性領域を含む素子の場合には、活性領域から放出された光は、

<0001>

軸と直角に直線偏光される。素子中のI I I族窒化物層は、この同じ方向に沿って偏光された光を優先的に吸収する。従って、図9A及び図9Bに示された素子は、光を反射して素子に戻すための、反射器67によって支持された偏光回転層66又は偏光ランダム化面68の何れかの偏光切換面を含む。切換面上に入射する光は、この偏光の回転又はランダム化を受けることになり、光が再吸収されることになる確率が低下する。偏光ランダム化構造体68の1つの例は、(図9Bに示されたp型領域6の表面上のような)エピタキシャル構造体の表面上、又は素子の基板側上の何れかにある粗い散乱表面である。この表面は、三次元的成長を助ける成長条件を選択することによって、又は成長後に、例えば表面をエッチングすること、あるいは研削グリットを使用するなどの機械的に粗面化することによって粗くすることができる。偏光回転構造体66の1つの例は、金属接点とエピタキシャル表面との間又は(図9Aに示されたp接点64及びp型領域6に隣接するような)これらに隣接して配置された、あるいは素子の基板側上に配置された複屈折誘電体である

40

50

。III族窒化物結晶もまた同様に複屈折であるので、光が活性領域4を透過して基板60に向かって戻るときに光が吸収される可能性を低減するために、偏光回転構造体66は、光が活性領域4からp型領域6を通して偏光回転構造体66まで進み、またp型領域6を通して戻るときに偏光の全ての回転の合計が90度であるように選択されなければならない。図9A及び図9Bに示された素子においては、p接点64は、複数の均等に間隔を置いて配置された金属列又は格子として形成される。p接点区域64の厚み及び間隔は、p型領域6においては適当な電流拡散が存在するが、偏光切換構造体によって覆われたp型領域6の表面は最大になるように選択される。図9A及び図9Bにおいて、p接点64によって覆われたp型領域6の範囲では、凹凸が付けられた領域68又は複屈折材料66がエッチングによって除去されなければならない場合がある。

10

#### 【0041】

図9A及び図9Bに示された偏光切換構造体はまた、図2に示された素子のような薄膜素子においても用いることができる。このような素子においては、偏光切換構造体は、ホスト基板10とp型領域6との間に配置することができる。

#### 【0042】

本発明を詳細に説明してきたが、本開示が与えられると、本明細書で説明された本発明の概念の精神から逸脱することなく、本発明に対して変更を行うことができることは当業者には明らかであろう。例えば、上記に説明された特徴の2つ又はそれ以上は単一の素子において組み合わせることができる。従って、本発明の範囲は、図示され説明された特定の実施形態に限定されるものではない。

20

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0043】

【図1】ウルツ鉱型III族窒化物半導体の結晶構造を示す。

【図2】面内偏光活性領域及び偏光子を含む素子の断面図である。

【図3】図2の素子の平面図である。

【図4】ワイヤグリッド偏光子によって隔てられた2つの発光ダイオードを含む素子の断面図である。

【図5】面内偏光活性領域、偏光子、及び波長変換層を含む素子の断面図である。

【図6】面内偏光活性領域を含む光結晶素子の断面図である。

【図7】正方格子光結晶の平面図である。

30

【図8】面内活性領域を含む垂直キャビティ面発光レーザの断面図である。

【図9A】図9Aは、偏光回転層及び面内活性領域を含む素子を示す。

【図9B】図9Bは、偏光ランダム化層及び面内活性領域を含む素子を示す。

【図10】面内活性領域を含む端面発光レーザを示す。

#### 【符号の説明】

#### 【0044】

2 n型領域

3a、3b エピタキシャル構造体

4 面内活性領域

6 p型領域

40

8 反射性接点

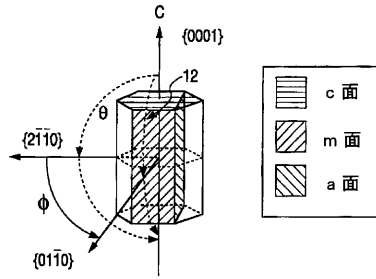
10 ホスト基板

12 偏光子

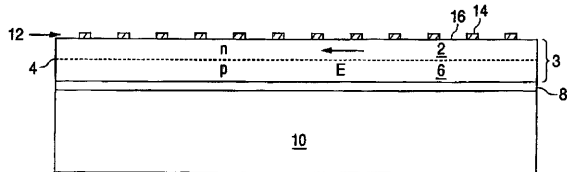
18 第2の接点

20、22、24、26 光線

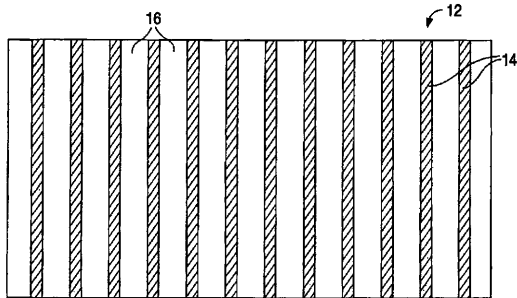
【図 1】



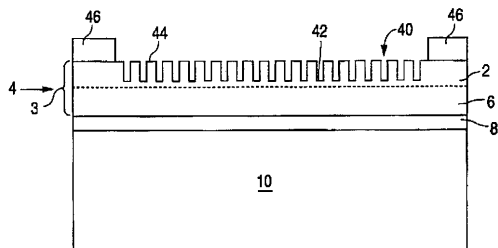
【図 2】



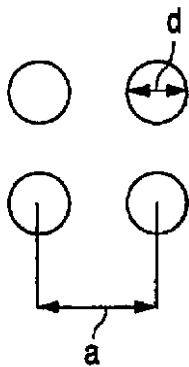
【図 3】



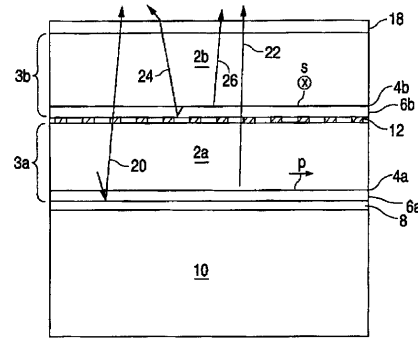
【図 6】



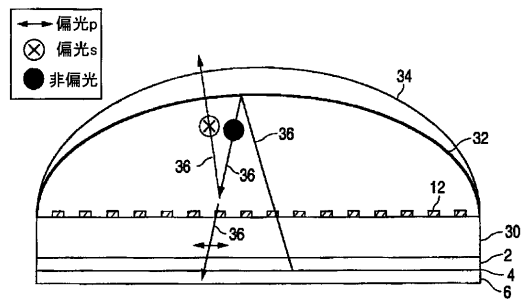
【図 7】



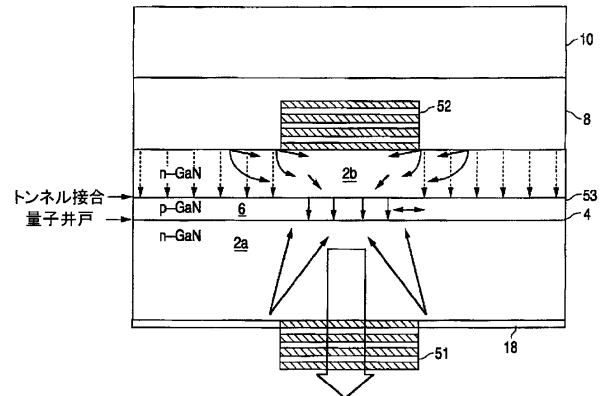
【図 4】



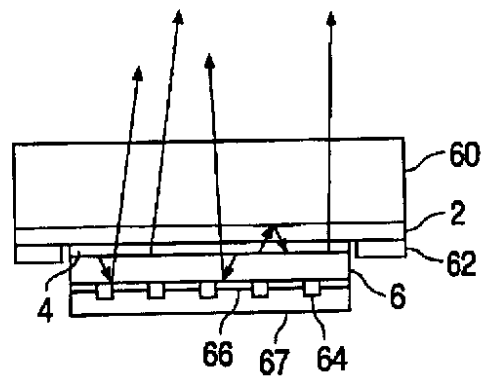
【図 5】



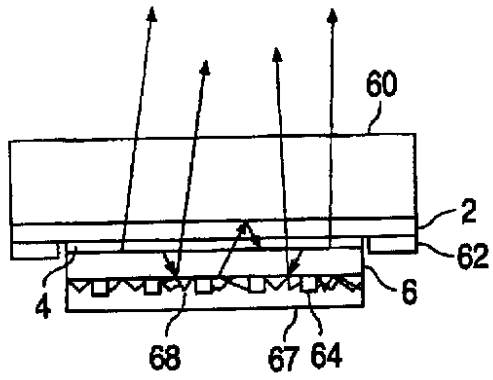
【図 8】



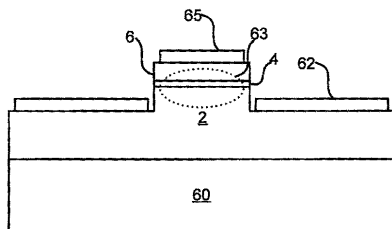
【図 9 A】



【図 9 B】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 ジェイムズ シー キム  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95130 サン ホセ フェニックス コート 3827
- (72)発明者 ジョン イー エプラー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス フォンテンブルー コート 176
- (72)発明者 ネイサン エフ ガードナー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94041 マウンテン ヴィュー カルダロン アベニュー 210 #14
- (72)発明者 マイケル アール クレイムズ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94041 マウンテン ヴィュー マーシー ストリート 1558
- (72)発明者 ジョナサン ジェイ ウィーラー ジュニア  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94539 フリーモント プラデリア サークル 664

審査官 杉田 翠

- (56)参考文献 特表2002-506567 (JP, A)  
特開平10-135576 (JP, A)  
特開平11-150335 (JP, A)  
特開2002-215067 (JP, A)  
特開平10-022573 (JP, A)  
Jung-Hoon Ser et al., Polarization stabilization of vertical-cavity top-surface-emitting lasers by inscription of fine metal-interlaced gratings, Applied Physics Letters, 米国, 1995年 3月22日, Vol.66, pp.2769-2771

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L33/00-33/64、51/50  
H01S5/00-5/50  
H05B33/00-33/28