

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014 年 4 月 24 日(24.04.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/061692 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/078042
- (22) 国際出願日: 2013 年 10 月 16 日(16.10.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2012-232074 2012 年 10 月 19 日(19.10.2012) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 谷 善彦(TANI, Yoshihiko). 竹岡 忠士(TAKEOKA, Tadashi). 栗栖 彰宏(KURISU, Akihiro). 花本 哲也(HANAMOTO, Tetsuya). セネス マチュー(SENES, Mathieu).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目 2 番 7 号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).

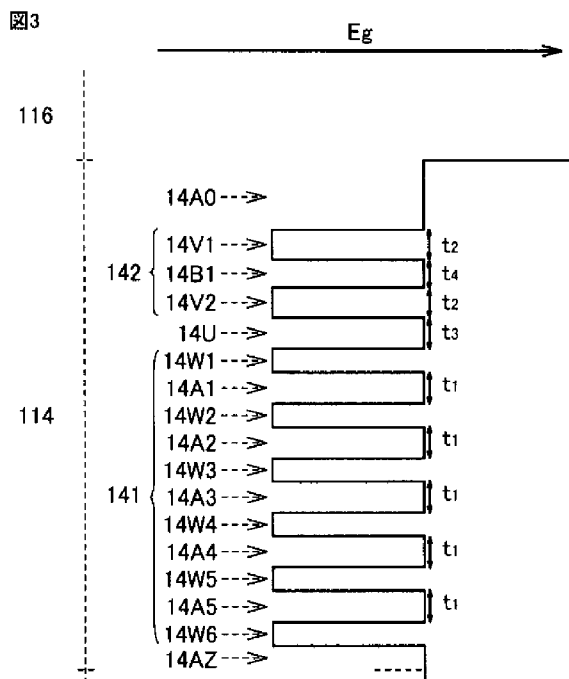
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 窒化物半導体発光素子



(57) Abstract: This nitride semiconductor light emitting element includes a multiple quantum well light emitting layer wherein: a second light emitting layer, a third barrier layer, and a first light emitting layer are provided in this order from the side close to a p-type nitride semiconductor layer; the first light emitting layer is provided with a plurality of first quantum well layers, and first barrier layers that are provided among the first quantum well layers; the second light emitting layer is provided with a plurality of second quantum well layers, and a second barrier layer that is provided between the second quantum well layers; and each of the second quantum well layers is thicker than each of the first quantum well layers.

(57) 要約: p型窒化物半導体層に近い側から第2発光層と第3バリア層と第1発光層とを備え、第1発光層は複数の第1量子井戸層と複数の第1量子井戸層の間に設けられた第1バリア層とを備え、第2発光層は複数の第2量子井戸層と複数の第2量子井戸層の間に設けられた第2バリア層とを備え、第2量子井戸層は第1量子井戸層よりも厚い多重量子井戸発光層を含む窒化物半導体発光素子である。

WO 2014/061692 A1

## 明 細 書

発明の名称：窒化物半導体発光素子

### 技術分野

[0001] 本発明は、窒化物半導体発光素子に関する。

### 背景技術

[0002] 窒素を含むⅢ－Ⅴ族化合物半導体材料（以下、「窒化物半導体材料」と呼ぶ）は、赤外領域から紫外領域の波長を有する光のエネルギーに相当するバンドギャップを有している。そのため、窒化物半導体材料は、赤外領域から紫外領域の波長を有する光を発光する発光素子の材料や、その領域の波長を有する光を受光する受光素子の材料などに有用である。

[0003] また、窒化物半導体材料は、原子間の結合力が強く、絶縁破壊電圧が高く、飽和電子速度が大きい。そのため、窒化物半導体材料は、耐高温かつ高出力な高周波トランジスタなどの電子デバイスの材料としても有用である。さらに、窒化物半導体材料は、環境を害することがほとんどなく、取り扱い易い材料としても注目されている。

[0004] 上記の特性を有する窒化物半導体材料を用いた窒化物半導体発光素子においては、発光層に量子井戸構造が採用されることが一般的である。発光層に量子井戸構造を採用した窒化物半導体発光素子に電圧が印加されると、発光層の量子井戸層において、電子とホールとが再結合されて光が発生する。量子井戸構造を有する発光層としては、単一量子井戸（Single Quantum Well；SQW）構造であってもよいが、量子井戸層とバリア層とが交互に積層された多重量子井戸（Multiple Quantum Well；MQW）構造とする場合が多い。

[0005] 発光層に量子井戸構造を採用した窒化物半導体発光素子については、発光層のMQW構造を工夫することによって、所望の特性を得ようとする試みがいくつかなされている。

[0006] たとえば特許文献1には、n形の第1半導体層10側から、第1井戸層～

第8井戸層を備えたMQW構造からなる発光部を備え、第1井戸層～第4井戸層には、2.5nmの厚さのアンドープの $\text{In}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 層が用いられ、第5井戸層～第8井戸層には、2.5nmの厚さのアンドープの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層が用いられた半導体発光素子が開示されている。このような特許文献1に記載の半導体発光素子においては、基板から発光部に伝播する転位や欠陥を抑制しつつ、結晶歪みを調整することが可能となるため、高効率の半導体発光素子が提供できるとされている。

[0007] また、特許文献2には、第1ないし第3量子ウェル層QW1、QW2、QW3を有するMQW構造の活性層がn型コンタクト層上に備えられ、各量子ウェル層のエネルギーバンドギャップがn型コンタクト層に近いほど大きくなる、または各量子ウェル層の厚さがn型コンタクト層に近いほど薄くなる半導体発光素子が開示されている。このような特許文献2に記載の半導体発光素子においては、量子ウェル層QW1、QW2、QW3間の光吸収が減って発光効率が改善されたとされている。

[0008] また、特許文献3には、n-AIGaN層側から第1ペア層～第4ペア層を有するMQWを備え、MQWを構成する第1井戸層～第4井戸層は、各発光波長を互いに合致させるような成長条件をもってそれぞれ形成されたIII族窒化物半導体発光素子が開示されている。ここで、第1井戸層～第4井戸層には不純物としてSiが添加されており、Siの添加量は、n-半導体層側からp-半導体層側に向かって漸次大きくなる添加量に設定されている。また、第1井戸層～第4井戸層の層厚は、n-半導体層側からp-半導体層側に向かって漸次小さくなる寸法に設定されている。さらに、 $\text{In}_x$ （X組成比）は、n-半導体層側からp-半導体層側に向かって漸次小さくなる組成比に設定されている。このような特許文献3に記載のIII族窒化物半導体発光素子においては、各井戸層の発光波長を合致させることができ、良好な色純度を得ることができるとともに、発光強度を高めることができるとされている。

[0009] また、特許文献4には、低い電流密度において効率良く発光する薄い第1

の井戸層（５層）と、高い電流密度において効率良く発光する厚い第２の井戸層（１層）とを備え、結晶性が悪化しやすい第２の井戸層が第１の井戸層とｐ型窒化ガリウム系半導体領域との間に位置するMQW構造を有する発光領域１７を備えた窒化物半導体発光素子が開示されている。このような特許文献４に記載の窒化物半導体発光素子においては、電流密度に対する発光効率の依存性を調整できるとされている。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0010] 特許文献１：特開２０１２－６９９０１号公報

特許文献２：特開２００８－１０３７１１号公報

特許文献３：特開２００７－２８１２５７号公報

特許文献４：特開２００７－１１５７５３号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0011] 近年においては、窒化物半導体発光素子を大きな電流密度（（電流値）／（発光層の面積））で駆動させることが要望されているが、従来の窒化物半導体発光素子を大電流密度で駆動した場合には、投入電流に対する発光量の比である電流－発光効率（ $W/A$ ）、および投入電力に対する発光量の比である電力－発光効率（ $W/W$ ）が低下することが問題となっていた。

[0012] 上記の事情に鑑みて、本発明の目的は、大電流密度での駆動時における発光効率を向上させることが可能な窒化物半導体発光素子を提供することにある。

## 課題を解決するための手段

[0013] 本発明は、ｎ型窒化物半導体層と、ｐ型窒化物半導体層と、ｎ型窒化物半導体層とｐ型窒化物半導体層との間に設けられた多重量子井戸発光層とを備え、多重量子井戸発光層はｐ型窒化物半導体層に近い側から、第２発光層と、第３バリア層と、第１発光層とを備え、第１発光層は、複数の第１量子井戸

戸層と、複数の第1量子井戸層の間に設けられた第1バリア層とを備え、第2発光層は、複数の第2量子井戸層と、複数の第2量子井戸層の間に設けられた第2バリア層とを備え、第2量子井戸層は第1量子井戸層よりも厚い窒化物半導体発光素子である。このような構成とすることにより、大電流密度での駆動時における発光効率を向上させることが可能な窒化物半導体発光素子を提供することができる。また、第2量子井戸層の層数は、2層とすることが好ましく、この場合には、大電流密度での駆動時における発光効率をより向上させることができる。

### 発明の効果

[0014] 本発明によれば、大電流密度での駆動時における発光効率を向上させることが可能な窒化物半導体発光素子を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施の形態の窒化物半導体発光素子の模式的な断面図である。

[図2]図1に示す実施の形態の窒化物半導体発光素子を上面から見た模式的な平面図である。

[図3]実施の形態の窒化物半導体発光素子に用いられる多重量子井戸発光層の一例のバンドギャップエネルギー図である。

[図4]室温（25℃）の場合と高温（80℃）の場合との第2量子井戸層におけるホールの注入状態を模式的に説明する図面である。

### 発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の実施の形態について説明する。なお、本発明の図面において、同一の参照符号は、同一部分または相当部分を表わすものとする。

[0017] また、この説明において、「バリア層」は量子井戸層に挟まれた層を指す。量子井戸層に挟まれていない層は「最初のバリア層」または「最後のバリア層」と表記し、量子井戸層に挟まれた層とは表記を変えている。

[0018] また、この説明において、「ドーパント濃度」という用語と、n型ドーパントまたはp型ドーパントのドーピングに伴い発生する電子およびホールの濃度である「キャリア濃度」という用語とを用いているが、その関係については

後述する。

[0019] また、この説明において、「キャリアガス」とは、ⅠⅠⅠ族原料ガス、Ⅴ族原料ガスおよびドーパント原料ガス以外のガスである。キャリアガスを構成する原子は窒化物半導体層などには取り込まれない。

[0020] また、「*n*型窒化物半導体層」は、その中に電子の流れを実用上妨げない程度の厚さの低キャリア濃度の*n*型層あるいはアンドープ層を含んでいてもよい。

[0021] また、「*p*側窒化物半導体層」についても、ホールの流れを実用上妨げない程度の厚さの低キャリア濃度の*p*型層あるいはアンドープ層を含んでいてもよい。「実用上妨げない」とは窒化物半導体発光素子の動作電圧が実用的なレベルであることを言う。

[0022] [窒化物半導体発光素子の構成]

図1に、本発明の窒化物半導体発光素子の一例である実施の形態の窒化物半導体発光素子の模式的な断面図を示す。図2に、図1に示す実施の形態の窒化物半導体発光素子を上面から見た模式的な平面図を示す。

[0023] 実施の形態の窒化物半導体発光素子は、基板101と、基板101上に、順次設けられた、バッファ層102と、窒化物半導体下地層107と、下部*n*型窒化物半導体層108と、*n*型窒化物半導体変調ドーパ層109と、低温*n*型窒化物半導体層110と、*n*型窒化物半導体多層構造体121と、*n*型窒化物半導体中間層（超格子層）122と、多重量子井戸発光層114と、*p*型窒化物半導体層116と、*p*型窒化物半導体層117と、*p*型窒化物半導体層118とを備えている。

[0024] *p*型窒化物半導体層118上には透明電極層123が設けられており、透明電極層123上には*p*電極125が設けられている。また、*p*型窒化物半導体層118上には*n*電極124が設けられている。さらに、*n*電極121の表面の一部および*p*電極125の表面の一部を露出させるように、窒化物半導体発光素子の表面は透明絶縁保護膜127で覆われている。

[0025] [基板]

基板 101 としては、たとえば、サファイアなどの絶縁性基板、または GaN、SiC 若しくは ZnO などの導電性基板を用いることができる。基板 101 の厚さは特に限定されないが、窒化物半導体層の成長時における基板 101 の厚さは、900 μm 以上 1200 μm であることが好ましく、窒化物半導体発光素子の使用時の基板 101 の厚さは、50 μm 以上 300 μm 以下であることが好ましい。

[0026] 基板 101 の上面には、凸部 101a および凹部 101b が形成されており、凹凸形状が形成されている。凸部 101a および凹部 101b の形状は特に限定されないが、凸部 101a は、平面視において、略正三角形の頂点に配された略円形であることが好ましく隣り合う凸部 101a の頂点の間隔は 1 μm 以上 5 μm 以下であることが好ましい。また、凸部 101a の断面形状は台形状であってもよく、台形の頂点部が丸みを帯びた形状であることがより好ましい。

[0027] なお、基板 101 は、基板 101 上への窒化物半導体層の成長後に除去されることによって、本発明の窒化物半導体発光素子は、基板 101 を有していない窒化物半導体発光素子としてもよい。

[0028] [バッファ層]

バッファ層 102 としては、たとえば  $\text{Al}_{s0}\text{Ga}_{t0}\text{O}_{u0}\text{N}_{1-u0}$  ( $0 \leq s0 \leq 1$ 、 $0 \leq t0 \leq 1$ 、 $0 \leq u0 \leq 1$ 、 $s0 + t0 \neq 0$ ) からなる式で表わされる窒化物半導体層を用いることが好ましく、AlN 層または AlON 層であることがより好ましい。

[0029] ここで、バッファ層 102 を構成する AlON 層としては、N のごく一部 (0.5 原子%以上 2 原子%以下) が酸素に置き換えられていることが好ましい。この場合には、基板 101 の成長面の法線方向に伸長するようにバッファ層 102 が形成されるため、結晶粒の揃った柱状結晶の集合体からなるバッファ層 102 を得ることができる。

[0030] バッファ層 102 の厚さは、特に限定されないが、3 nm 以上 100 nm 以下であることが好ましく、5 nm 以上 50 nm 以下であることがより好ま

しい。

[0031] 後述する窒化物半導体下地層 107 の X 線ロッキングカーブの半値幅を向上させるために、バッファ層 102 としては、公知のスパッタ法により形成された AlON 層を用いることが好ましい。

[0032] [窒化物半導体下地層]

窒化物半導体下地層 107 は、たとえば、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により、バッファ層 102 の表面上に形成することができる。

[0033] 窒化物半導体下地層 107 としては、たとえば、 $Al_{x0}Ga_{y0}In_{z0}N$  ( $0 \leq x0 \leq 1$ 、 $0 \leq y0 \leq 1$ 、 $0 \leq z0 \leq 1$ 、 $x0 + y0 + z0 \neq 0$ ) の式で表わされる III 族窒化物半導体からなる層を用いることができる。

[0034] 窒化物半導体下地層 107 としては、柱状結晶の集合体からなるバッファ層 102 中の転位などの結晶欠陥を引き継がないようにするために、III 族元素として Ga を含む窒化物半導体層を用いることが好ましい。

[0035] 窒化物半導体下地層 107 としては、たとえば、n 型ドーパントが  $1 \times 10^{17}$  個/cm<sup>3</sup> 以上  $1 \times 10^{19}$  個/cm<sup>3</sup> 以下の範囲でドーピングされていてもよい。しかしながら、窒化物半導体下地層 107 の良好な結晶性を維持する観点からは、窒化物半導体下地層 107 はアンドープであることが好ましい。

[0036] 窒化物半導体下地層 107 にドーピングされる n 型ドーパントとしては、たとえば、Si、Ge および Sn からなる群から選択された少なくとも 1 種などを用いることができる。なかでも、n 型ドーパントとしては、Si を用いることが好ましい。窒化物半導体下地層 107 にドーピングされる n 型ドーパントに Si を用いた場合には、n 型ドーピングガスとしては、シランまたはジシランを用いることが好ましい。

[0037] 窒化物半導体下地層 107 の成長時における基板 101 の温度は、800℃以上 1250℃以下であることが好ましく、900℃以上 1150℃以下であることがより好ましい。窒化物半導体下地層 107 の成長時における基板 1 の温度が 800℃以上 1250℃以下である場合、特に 900℃以上 1



150℃以下である場合には、結晶欠陥の少ない結晶性に優れた窒化物半導体下地層107を成長させることができる。

[0038] 窒化物半導体下地層107の厚さをできるだけ厚くすることによって、窒化物半導体下地層107中の欠陥は減少するが、窒化物半導体下地層107の厚さをある程度以上厚くしたとしても窒化物半導体下地層107における欠陥減少効果が飽和する。これにより、窒化物半導体下地層107の厚さは、1μm以上8μm以下であることが好ましく、3μm以上5μm以下であることがより好ましい。

[0039] [下部n型窒化物半導体層]

下部n型窒化物半導体層108としては、たとえば、 $Al_{x1}Ga_{y1}In_{z1}N$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、 $x1 + y1 + z1 \neq 0$ ) の式で表わされるIII族窒化物半導体からなる層にn型ドーパントがドーパされた層を用いることができる。なかでも、下部n型窒化物半導体層108としては、 $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$  ( $0 \leq x2 \leq 1$ 、好ましくは $0 \leq x2 \leq 0.5$ 、より好ましくは $0 \leq x2 \leq 0.1$ ) 層にn型ドーパントがドーパされた層を用いることがより好ましい。

[0040] 下部n型窒化物半導体層108にドーパされるn型ドーパントは特に限定されないが、たとえば、Si、P、AsおよびSbからなる群から選択された少なくとも1種などを用いることができる。なかでも、n型ドーパントとしては、Siを用いることが好ましい。同様のことが、後述する層にも言える。下部n型窒化物半導体層108のn型ドーパント濃度は、特に限定されないが、 $1 \times 10^{19}$ 個/cm<sup>3</sup>以下であることが好ましい。

[0041] 下部n型窒化物半導体層108の厚さはできるだけ厚い方が下部n型窒化物半導体層108の抵抗は減少する。一方、下部n型窒化物半導体層108の厚さを厚くした場合には窒化物半導体発光素子の製造コストの上昇を招く。両者の兼ね合いから、下部n型窒化物半導体層108の厚さは、1μm以上10μm以下であることが好ましいが、特に限定されない。

[0042] なお、後述する実施例では、n型GaN層の成長を一旦中断させてから、

同一の n 型 GaN 層を再び成長させるという 2 つの成長工程によって、下部 n 型窒化物半導体層 108 を形成している。しかしながら、下部 n 型窒化物半導体層 108 の構成は特に限定されない。

[0043] たとえば、下部 n 型窒化物半導体層 108 は、単層であってもよく、2 層以上の複数層であってもよい。下部 n 型窒化物半導体層 108 が複数層である場合には、それぞれの層が同一の組成からなっているとしてもよく、少なくとも 1 層が異なる組成であってもよい。下部 n 型窒化物半導体層 108 が複数層である場合には、それぞれの層が同一の厚さであってもよく、少なくとも 1 層が異なる厚さであってもよい。

[0044] [その他の n 型窒化物半導体層]

下部 n 型窒化物半導体層 108 以外の n 型窒化物半導体層（n 型窒化物半導体変調ドープ層 109、低温 n 型窒化物半導体層 110、n 型窒化物半導体多層構造体 121、n 型窒化物半導体中間層（超格子層）122）は、単層であってもよく、組成および／またはドーパント濃度の異なる複数層であってもよい。

[0045] 本実施の形態においては、下部 n 型窒化物半導体層 108 以外の n 型窒化物半導体層として、n 型窒化物半導体変調ドープ層 109、低温 n 型窒化物半導体層 110、n 型窒化物半導体多層構造体 121、n 型窒化物半導体中間層（超格子層）122 を用いているが、これらの層に限定されないことは言うまでもなく、これらの層を形成しなくてもよい。

[0046] n 型窒化物半導体変調ドープ層 109、低温 n 型窒化物半導体層 110、n 型窒化物半導体多層構造体 121、n 型窒化物半導体中間層（超格子層）122 おける上記以外の説明は、下部 n 型窒化物半導体層 108 の説明と同様であるため、その説明についてはここでは省略する。

[0047] [多重量子井戸発光層]

図 3 に、実施の形態の窒化物半導体発光素子に用いられる多重量子井戸発光層 114 の一例のバンドギャップエネルギー図を示す。図 3 の縦軸は積層方向の厚さを示しており、上方向が p 型窒化物半導体層に近い側を意味して

いる。また、図3の横軸はバンドギャップエネルギーの大きさを示しており、右方向がバンドギャップエネルギーが大きいことを意味している。

[0048] 図3に示すように、多重量子井戸発光層114は、p型窒化物半導体層に近い側から、第2発光層142と、第3バリア層14Uと、第1発光層141とを備えている。

[0049] 第1発光層141は、複数の第1量子井戸層14W（14W1，14W2，14W3，14W4，14W5，14W6）と、複数の第1バリア層14A（14A1，14A2，14A3，14A4，14A5）とを備えている。第1量子井戸層14Wと第1バリア層14Aとは交互に積層されており、第1バリア層14Aは、それぞれ、複数の第1量子井戸層14Wの間に挟まれている。

[0050] 第2発光層142は、複数の第2量子井戸層14V（14V1，14V2）と、複数の第2量子井戸層14Vの間に設けられた第2バリア層14B1とを備えている。

[0051] n型窒化物半導体中間層（超格子層）122の直上には、最初のバリア層14AZが設けられている。最もp型窒化物半導体層16側に位置する第2の量子井戸層14V1の直上には最後のバリア層14A0が設けられている。

[0052] なお、この説明において、各バリア層および各量子井戸層を識別するために、p型窒化物半導体層16からn型窒化物半導体中間層（超格子層）122に向かって番号を付し、たとえば、第1量子井戸層14W1、第1バリア層14A1、第1量子井戸層14W2、第1バリア層14A2、・・・や、第2量子井戸層14V1、第2バリア層14B1、第2量子井戸層14V2、第2バリア層14B2などと表記することとする。

[0053] 一方、各バリア層および各量子井戸層は、特に個々を限定する場合を除き、総じて各々第1バリア層14A、第2バリア層14Bおよび第1量子井戸層14W、第2量子井戸層14Vと表記することがある。また、本実施形態では、第2量子井戸層14Vを2層と第2バリア層14Bを1層とした例を

挙げているが、第2量子井戸層14Vを3層以上、第2バリア層14Bを2層以上の構成とする事も可能である。

[0054] 第1発光層141においては、第1バリア層14Aは、複数の第1量子井戸層14Wの間に挟まれていれば、第1バリア層14Aと第1量子井戸層14Wとの間に、第1バリア層14Aおよび第1量子井戸層14Wとは異なる1層以上の半導体層が含まれていてもよい。また、第1発光層141の一周期（第1バリア層14Aの厚さと第1量子井戸層14Wの厚さとの和）の長さは、たとえば、5nm以上100nm以下とすることができる。

[0055] 第2発光層142においても同様に、第2バリア層14Bは、複数の第2量子井戸層14Vの間に挟まれていれば、第2バリア層14Bと第2量子井戸層14Vとの間に、第2バリア層14Bおよび第2量子井戸層14Vとは異なる1層以上の半導体層が含まれていてもよい。

[0056] 第2発光層142の第2量子井戸層14Vの厚さ $t_2$ は、第1発光層141の第1量子井戸層14Wの厚さ $t_1$ よりも厚くされる。また、第2量子井戸層14Vの厚さ $t_2$ と第1量子井戸層14Wの厚さ $t_1$ との差は2.5nm以下であることが好ましい。この場合には、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。なお、各第2量子井戸層14V1, 14V2は、異なる厚さで形成されていてもよいが、同じ厚さであることがより好ましい。第1量子井戸層14Wの厚さ $t_1$ と第2量子井戸層14Vの厚さ $t_2$ との差を極端に大きくした場合には、窒化物半導体発光素子の発光波長のずれが大きくなり好ましくない。

[0057] 本発明者らは、第2量子井戸層14Vの厚さを第1量子井戸層14Wよりも厚くした場合には、高温動作時（大電流密度での駆動時）における窒化物半導体発光素子の発光効率が向上することを見出した。この作用の詳細な原理は明らかではないが、以下のように推測される。

[0058] 図4に、室温（25℃）の場合と高温（80℃）の場合との第2量子井戸層14Vにおけるホールの注入状態を模式的に説明する図面である。すなわち、第2量子井戸層14Vの厚さを第1量子井戸層14Wよりも厚くした場

合には、室温（25℃）程度においては、ホールのほとんどは、量子井戸層全体の上部1～2層にしか入らず、特に第2量子井戸層14Vのうち、p型窒化物半導体層16に近い第2量子井戸層14V1の厚さを厚くすると、ホールが沢山存在する領域の面積を広げることになるため、結果として発光体積が上がることになる。しかしながら、同様に第2量子井戸層14V2を厚くしても期待する程の効果が得られなかった。これは、ホールの大部分が1層目の量子井戸層で発光に寄与しているためと思料される。また、2層目を厚くすることによって、却ってそれよりも上の層の結晶性を悪化させていることも考えられる。

[0059] しかしながら、80℃以上の高温領域（たとえば、大電流密度での駆動時）においては、第2量子井戸層14Vのうちp型窒化物半導体層16に近い第2量子井戸層14V1だけでなく、2層目（第2量子井戸層14V2）以降にもホールが注入されるため、第2量子井戸層14V1のみ厚い場合よりもキャリアとして働くホールの低下が少なくなり、光出力が改善され、温度特性が向上する。

[0060] 第2発光層142の第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ は、第3バリア層14Uの厚さ $t_3$ よりも薄いことが好ましく、第3バリア層14Uの厚さ $t_3$ と第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ との差は2nm以下であることがより好ましい。第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ は薄ければ薄い程、窒化物半導体発光素子の光出力が上昇する傾向にある。特に、室温における駆動を考えると、第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ を薄くすることにより、ホールがキャリアとして働く割合が高くなる。しかしながら、第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ をを極端に薄くした場合には、第2バリア層14Bの上に積層される第2量子井戸層14Vの結晶性が悪くなり、また、温度特性も悪くなる傾向にあるため、第3バリア層14Uの厚さ $t_3$ と第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ との差を2nm以下とすることが好ましい。また、結晶性を考慮すると、第2量子井戸層14Vは、2層とすることがより好ましい。また、第3バリア層14Uの厚さ $t_3$ は、第1バリア層14Aの厚さ $t_1$ と同一の厚さで形成されることが好ましい。

[0061] 複数の第2量子井戸層14V1, 14V2は、第1量子井戸層14Wよりもバンドギャップエネルギーが大きいことが好ましい（図4の(i)）。第1量子井戸層14Wと複数の第2量子井戸層14V1, 14V2とのバンドギャップエネルギーを調整せずに、上述のように、第2量子井戸層14Vを第1量子井戸層14Wよりも厚く形成した場合には、窒化物半導体発光素子の発光波長領域の短波長側に、第2量子井戸層14Vに起因する二次ピークが出現するため、窒化物半導体発光素子の発光ピークの半値幅が大きくなり、所望の発光波長からずれることがある。一方、第2量子井戸層14Vのバンドギャップエネルギーを第1量子井戸層14Wよりも大きくし、第2量子井戸層14Vの発光波長を第1量子井戸層14Wに合わせ込むことで、窒化物半導体発光素子の発光ピークの半値幅を狭くすることができ、窒化物半導体発光素子の発光波長を所望の値に合わせることができる。

[0062] また、複数の第2量子井戸層14V1, 14V2においては、p型窒化物半導体層16に近い側の第2量子井戸層14V1の方がp型窒化物半導体層16から遠い側の第2量子井戸層14V2よりもバンドギャップエネルギーが小さいことが好ましい（図4の(ii)）。このように、p型窒化物半導体層16に近い第2量子井戸層14V1の方がより多くのホールを保持できる構成とすることで、実際のホールの分布に合わせ込むことができるため、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0063] また、第2バリア層14Bの厚さ $t_4$ を薄くすることにより、見かけ上、第2量子井戸層14Vの厚さ $t_2$ を厚くすることができ、その結果、第2量子井戸層14Vに起因する二次ピークを長波長側にシフトさせることができる（図4の(iii)）。上述の各層のバンドギャップエネルギーの調整と組み合わせることにより、窒化物半導体発光素子の発光波長を所望の最適値に合わせ込むことができる。

[0064] 上述のように、バンドギャップエネルギーを調整して窒化物半導体発光素子の発光ピーク波長を所望の値に合わせ込むには、第1量子井戸層14Wお

よび第2量子井戸層14Vの組成を窒化物半導体発光素子に求められる発光ピーク波長に合わせてやればよい。

[0065] 第1量子井戸層14Wとしては、それぞれ独立に、たとえば、 $Al_{c1}Ga_{d1}In_{(1-c1-d1)}N$  ( $0 \leq c1 < 1$ ,  $0 < d1 \leq 1$ ) の式で表わされる窒化物半導体層を用いることができる。第2量子井戸層14Vとしては、それぞれ独立に、たとえば、 $Al_{c2}Ga_{d2}In_{(1-c2-d2)}N$  ( $0 \leq c2 < 1$ ,  $0 < d2 \leq 1$ ) の式で表わされる窒化物半導体層を用いることができる。

[0066] なかでも、第1量子井戸層14Wは、Alを含まない  $In_{e1}Ga_{(1-e1)}N$  ( $0 < e1 \leq 1$ ) であって、第2量子井戸層14Vは、Alを含まない  $In_{e2}Ga_{(1-e2)}N$  ( $0 < e2 \leq 1$ ,  $e1 > e2$ ) であることが好ましい。Inの組成を変えてやることにより、第1量子井戸層14Wおよび第2量子井戸層14Vのバンドギャップエネルギーを調整することが可能になる。波長が375nm以下の紫外光を発光させる場合には、多重量子井戸発光層114のバンドギャップエネルギーを大きくする必要があるため、各第1量子井戸層14Wおよび各第2量子井戸層14Vは、Alを含むことになる。

[0067] 各第1量子井戸層14WのIn組成比を、各第2量子井戸層14VのIn組成比よりも大きくすることが好ましい。さらに、p型窒化物半導体層16に近い側の第2量子井戸層14V1の方が、p型窒化物半導体層16から遠い側の第2量子井戸層14V2よりもIn組成比が大きいことが好ましい。この場合には、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0068] 第2量子井戸層14Vをp型窒化物半導体層16に近い側から第2量子井戸層14V1と第2量子井戸層14V2とをこの順に配置した2層構造とした場合には、第2量子井戸層14V1のIn組成比を第2量子井戸層14V2のIn組成比よりも大きくする。これにより、p型窒化物半導体層16に近い側の第2量子井戸層14V1の方がより多くのホールを保持できる構成とすることで、実際のホールの分布に合わせ込むことができるため大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させるこ

とができる。なお、具体的な  $I_n$  組成比の調整方法としてはいくつかの手法が考えられるがたとえば各量子井戸層の形成時の温度を調整する方法が考えられる。

[0069]  $I_n$  の組成を調整することにより、第2量子井戸層 14 V のバンドギャップエネルギーを第1量子井戸層 14 W よりも大きくすることができるため、第2量子井戸層 14 V の発光波長を第1量子井戸層 14 W に合わせ込むことで、窒化物半導体発光素子の発光ピークの半値幅を狭くすることができ、窒化物半導体発光素子の発光波長を所望の値に合わせこむことができる。さらに、p型窒化物半導体層 16 に近い側の第2量子井戸層 14 V 1の方が第2量子井戸層 14 V 2よりも  $I_n$  組成を大きくすることによって、p型窒化物半導体層 16 に近い側の第2量子井戸層 14 V 1の方がバンドギャップエネルギーが小さくなり、p型窒化物半導体層 16 に近い側の第2量子井戸層 14 V の方がより多くのホールを保持できる構成となるため、実際のホールの分布に合わせこむことができる。

[0070] 複数の第1量子井戸層 14 W のうち、p型窒化物半導体層 16 側に位置する第1量子井戸層 14 W はドーパントを極力含まないことが好ましい。すなわち、ドーパント原料を導入することなく、p型窒化物半導体層 16 側に位置する第1量子井戸層 14 W を成長させることが好ましい。これにより、各第1量子井戸層 14 W における非発光再結合が起こりにくくなるため、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0071] 複数の第1量子井戸層 14 W のうち、基板 101 側に位置する第1量子井戸層 14 W はn型ドーパントを含んでいてもよい。これにより、窒化物半導体発光素子の駆動電圧が低下する傾向にある。

[0072] 各第1量子井戸層 14 W の厚さは特に限定されないが、それぞれ同じであることが好ましい。各第1量子井戸層 14 W の厚さが同一である場合には、各第1量子井戸層 14 W の量子準位も同一になり、各第1量子井戸層 14 W における電子とホールとの再結合により各第1量子井戸層 14 W において同



じ波長の光が生じる。これにより、窒化物半導体発光素子の発光スペクトル幅が狭くなるため好ましい。

[0073] 一方、各第1量子井戸層14Wの組成および／または厚さを意図的に異ならせた場合には、窒化物半導体発光素子の発光スペクトル幅をブロードにすることができる。窒化物半導体発光素子を照明などの用途に使用する場合、各第1量子井戸層14Wの組成および／または厚さを意図的に異ならせることが好ましい。各第1量子井戸層14Wの厚さは1nm以上7nm以下であることが好ましい。各第1量子井戸層14Wの厚さが1nm以上7nm以下の範囲内にある場合には、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0074] 第1バリア層14A（14A1～14A5）、第2バリア層14B1、第3バリア層14U、最初のバリア層14AZおよび最後のバリア層14AOは、それぞれ、各第1量子井戸層14Wおよび各第2量子井戸層14Vを構成する窒化物半導体材料よりもバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体材料を用いる方が好ましい。

[0075] 第1バリア層14A（14A1～14A5）、第2バリア層14B1、第3バリア層14U、最初のバリア層14AZおよび最後のバリア層14AOとしては、それぞれ独立に、 $\text{Al}_f\text{Ga}_g\text{In}_{(1-f-g)}\text{N}$ （ $0 \leq f < 1$ 、 $0 < g \leq 1$ ）の式で表わされる窒化物半導体層を用いることが好ましく、Alを含まない $\text{In}_h\text{Ga}_{(1-h)}\text{N}$ （ $0 < h \leq 1$ 、 $e_1 > e_2 > h$ ）の式で表わされる窒化物半導体層を用いることがより好ましい。

[0076] 各第1バリア層14Aの厚さは特に限定されないが、1nm以上10nm以下であることが好ましく、3nm以上7nm以下であることがより好ましい。各第1バリア層14Aの厚さが薄いほど駆動電圧が低下するが、各第1バリア層14Aの厚さを極端に薄くすると、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率が低下する傾向にある。最初のバリア層14AZの厚さは、特に限定されず、1nm以上10nm以下であることが好ましい。最後のバリア層14AOの厚さは、特に限定されないが、1nm以

上40nm以下であることが好ましい。

[0077] 第1バリア層14A(14A1~14A5)、第2バリア層14B1、第3バリア層14Uおよび最初のバリア層14AZにおけるn型ドーパント濃度は特に限定されず、必要に応じて適宜設定されることが好ましい。また、複数の第1バリア層14Aのうち、基板101側に位置する第1バリア層14Aにはn型ドーパントをドーピングさせ、p型窒化物半導体層16側に位置する第1バリア層14A、第2バリア層14B1および第3バリア層14Uには基板101側に位置する第1バリア層14Aよりも低い濃度のn型ドーパントをドーピングさせる、またはn型ドーパントをドーピングさせないことが好ましい。

[0078] 各第1バリア層14A、第2バリア層14B1、第3バリア層14U、最初のバリア層14AZおよび最後のバリア層14AOには、n型ドーパントを意図的にドーピングさせることがある。また、各第1バリア層14A、第2バリア層14B1、第3バリア層14U、最初のバリア層14AZおよび最後のバリア層14AOには、p型窒化物半導体層16、p型窒化物半導体層17およびp型窒化物半導体層18の成長時の熱拡散によりp型ドーパントがドーピングされることがある。

[0079] 第1量子井戸層14Wの層数は特に限定されないが、2層以上20層以下であることが好ましく、3層以上15層以下であることがより好ましく、4層以上12層以下であることがさらに好ましい。

[0080] [p型窒化物半導体層]

p型窒化物半導体層116, 117, 118としては、それぞれ独立に、たとえば $A_{1-s_4}Ga_{t_4}In_{u_4}N$  ( $0 \leq s_4 \leq 1$ ,  $0 \leq t_4 \leq 1$ ,  $0 \leq u_4 \leq 1$ ,  $s_4 + t_4 + u_4 \neq 0$ ) 層にp型ドーパントがドーピングされた層を用いることが好ましく、 $A_{1-s_4}Ga_{(1-s_4)}N$  ( $0 < s_4 \leq 0.4$ , 好ましくは $0.1 \leq s_4 \leq 0.3$ ) 層にp型ドーパントがドーピングされた層を用いることがより好ましい。

[0081] p型ドーパントとしては、特に限定されないが、たとえばマグネシウムを

用いることが好ましい。p型窒化物半導体層116, 117, 118におけるキャリア濃度は $1 \times 10^{17}$ 個/cm<sup>3</sup>以上であることが好ましい。p型ドーパントの活性率は、0.01程度であることから、p型窒化物半導体層116, 117, 118におけるp型ドーパント濃度（キャリア濃度とは異なる）は $1 \times 10^{19}$ 個/cm<sup>3</sup>以上であることが好ましい。ただし、p型窒化物半導体層116, 117, 118のうち、多重量子井戸発光層114側に位置するp型窒化物半導体層116におけるp型ドーパント濃度は $1 \times 10^{19}$ 個/cm<sup>3</sup>未満であることが好ましい。

[0082] p型窒化物半導体層116, 117, 118の合計の厚さは、特に限定されないが、50nm以上300nm以下であることが好ましい。p型窒化物半導体層116, 117, 118の合計の厚さを薄くすることにより、p型窒化物半導体層116, 117, 118の成長時における加熱時間を短くすることができる。これにより、p型窒化物半導体層116, 117, 118におけるp型ドーパントの拡散を抑制することができる。

[0083] [n電極、透明電極、p電極]

n電極124およびp電極125は、窒化物半導体発光素子に駆動電力を供給するための電極である。図2に示すように、n電極124およびp電極125は、パッド電極部分のみで構成されているが、たとえば電流拡散を目的とする細長い突出部（枝電極）などがn電極124および／またはp電極125に接続されていてもよい。

[0084] また、p電極125よりも下に、電流がp電極125に注入されることを防止するための絶縁層が設けられていることが好ましい。これにより、p電極125に遮蔽される発光量が減少する。

[0085] n電極124は、たとえば、チタン層、アルミニウム層および金層がこの順序で積層されて構成されていることが好ましい。n電極124に、ワイヤボンディングを行なう場合を想定すると、n電極124の厚さは1μm以上であることが好ましい。

[0086] p電極125は、たとえば、ニッケル層、アルミニウム層、チタン層およ

び金属がこの順序で積層されて構成されていることが好ましく、n電極124と同一の材料から構成されていてもよい。p電極125にワイヤボンディングを行なう場合を想定すると、p電極125の厚さは1 $\mu$ m以上であることが好ましい。

[0087] 透明電極層123は、たとえば、ITO (Indium Tin Oxide) またはIZO (Indium Zinc Oxide) などの透明導電膜からなることが好ましく、20nm以上200nm以下の厚さを有していることが好ましい。

[0088] [キャリア濃度とドーパント濃度について]

キャリア濃度は電子またはホールの濃度を意味し、n型ドーパントの量またはp型ドーパントの量だけでは決定されない。このようなキャリア濃度は窒化物半導体発光素子の電圧対容量特性の結果に基づいて算出されるものであり、電流が注入されていない状態のキャリア濃度のことを指しており、イオン化した不純物、ドナー化した結晶欠陥およびアクセプター化した結晶欠陥から発生したキャリアの合計である。

[0089] しかしながら、n型キャリア濃度は、n型ドーパントであるSi等の活性化率が高いことから、n型ドーパント濃度とほぼ同じと考えることができる。また、n型ドーパント濃度はSIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy : 二次イオン質量分析計) にて深さ方向の濃度分布を測定することにより容易に求めることができる。さらに、ドーパント濃度の相対関係 (比率) は、キャリア濃度の相対関係 (比率) とほぼ同じである。これらのことから、本発明の課題を解決するための手段としては、実際に測定の容易なドーパント濃度で定義している。そして、測定により得られたn型ドーパント濃度を厚さ方向に平均すれば、平均n型ドーパント濃度を得ることができる。

[0090] [窒化物半導体発光素子の製造方法]

以下に、実施の形態の窒化物半導体発光素子の製造方法の一例について説明する。まず、たとえばスパッタ法などにより、基板101の上にバッファ層102を形成する。

[0091] 次に、たとえばMOCVD法などにより、バッファ層102上に、窒化物

半導体下地層 107、下部 n 型窒化物半導体層 108、n 型窒化物半導体変調ドープ層 109、低温 n 型窒化物半導体層 110、n 型窒化物半導体多層構造体 121、n 型窒化物半導体中間層（超格子層）122、多重量子井戸発光層 114、p 型窒化物半導体層 116、p 型窒化物半導体層 117 および p 型窒化物半導体層 118 をこの順に形成する。

[0092] 次に、下部 n 型窒化物半導体層 108 の表面の一部が露出するように、p 型窒化物半導体層 118、p 型窒化物半導体層 117、p 型窒化物半導体層 116、多重量子井戸発光層 114、n 型窒化物半導体中間層（超格子層）122、n 型窒化物半導体多層構造体 121、低温 n 型窒化物半導体層 110、n 型窒化物半導体変調ドープ層 109 および下部 n 型窒化物半導体層 108 のそれぞれの一部をエッチングにより除去する。

[0093] 当該エッチングにより露出させた下部 n 型窒化物半導体層 108 の表面に n 電極 124 を形成する。また、p 型窒化物半導体層 118 の上面に、透明電極層 123 と p 電極 125 とをこの順に積層する。

[0094] その後、透明電極層 123 およびエッチングによって露出した各層の側面を覆うように、透明絶縁保護膜 127 を形成する。これにより、図 1 に示す構成の実施の形態の窒化物半導体発光素子が得られる。

## 実施例

[0095] 続いて、実施形態の窒化物半導体発光素子のより具体的な実施例について説明する。なお、実施形態の窒化物半導体発光素子の構成は以下に示す実施例の窒化物半導体発光素子の構成に限定されない。

[0096] [製造工程]

まず、図 1 に示すように、凸部 101a および凹部 101b からなる凹凸加工が上面に施された 100mm 径のサファイア基板である基板 101 を準備した。凸部 101a の形状は、平面視において略円形を為し、隣り合う 3 個の凸部 101a が平面視において略正三角形の頂点に位置するように配置されている。隣り合う凸部 101a の頂点の間隔は  $2\mu\text{m}$  である。

[0097] また、凸部 101a の平面視における略円形の直径は  $1.2\mu\text{m}$  程度であ

り、凸部101aの高さは0.6  $\mu\text{m}$ 程度であった。さらに、基板101の上面の凸部101aおよび凹部101bは、図1に示す断面を有しており、凸部101aは先端部を有していた。

[0098] 次に、凸部101aおよび凹部101bの形成後の基板101の上面に対してRCA洗浄を行なった。そして、チャンバにRCA洗浄後の基板101を設置して $\text{N}_2$ と $\text{O}_2$ とArとを導入し、基板101を650℃に加熱した。

[0099] 次に、 $\text{N}_2$ と $\text{O}_2$ とArとの混合雰囲気において、Alターゲットをスパッタする反応性スパッタ法により、凸部101aおよび凹部101bを有する基板101の表面上に、基板101の表面の法線方向に伸長する結晶粒の揃った柱状結晶の集合体からなるAlON結晶からなる厚さ25 nmのバッファ層102を形成した。

[0100] 次に、バッファ層102が形成された基板101を第1のMOCVD装置内に收容した。そして、MOCVD法により、バッファ層102上に、アンダープGaNからなる窒化物半導体下地層107を成長させ、引き続いてSiドープn型GaNからなる下部n型窒化物半導体層108を窒化物半導体下地層107の表面上に成長させた。このとき、窒化物半導体下地層107の厚さを4  $\mu\text{m}$ とし、下部n型窒化物半導体層108の厚さを3  $\mu\text{m}$ とし、下部n型窒化物半導体層108におけるn型ドーパント濃度を $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ とした。

[0101] なお、窒化物半導体下地層107の厚さをできるだけ厚くすることによって、窒化物半導体下地層107中の欠陥は減少するが、窒化物半導体下地層107の厚さをある程度以上厚くしたとしても窒化物半導体下地層107における欠陥減少効果が飽和した。これにより、窒化物半導体下地層107の厚さは、1  $\mu\text{m}$ 以上8  $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、3  $\mu\text{m}$ 以上5  $\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましいことがわかった。

[0102] 次に、第1のMOCVD装置から取り出した基板101を第2のMOCVD装置内に收容した。基板101の温度を1081℃（第1の成長温度）に設定して、下部n型窒化物半導体層108を窒化物半導体下地層107上に

成長させた。下部  $n$  型窒化物半導体層 108 は、 $n$  型ドーパント濃度が  $1 \times 10^{19}$  個/ $\text{cm}^3$  である  $n$  型 GaN 層であり、その厚さが  $1.5 \mu\text{m}$  である。

[0103] 次に、基板 101 の温度を  $1081^\circ\text{C}$ （第 1 の成長温度）に保持した状態で、下部  $n$  型窒化物半導体層 108 上に厚さ  $50 \text{ nm}$  の Si ドープ  $n$  型 GaN からなる  $n$  型窒化物半導体層（ $n$  型ドーパント濃度： $1 \times 10^{19}$  個/ $\text{cm}^3$ ）、厚さ  $87 \text{ nm}$  のアンドープ GaN からなる窒化物半導体層、厚さ  $50 \text{ nm}$  の Si ドープ  $n$  型 GaN からなる  $n$  型窒化物半導体層（ $n$  型ドーパント濃度： $1 \times 10^{19}$  個/ $\text{cm}^3$ ）、および厚さ  $87 \text{ nm}$  のアンドープ GaN からなる窒化物半導体層をこの順に MOCVD 法により結晶成長して、 $n$  型窒化物半導体変調ドープ層 109 を積層した。

[0104] 次に、基板 101 の温度を  $801^\circ\text{C}$ （第 2 の成長温度）に設定して、 $n$  型窒化物半導体変調ドープ層 109 上に低温  $n$  型窒化物半導体層 110 を成長させた。具体的には、 $n$  型ドーパント濃度が  $1 \times 10^{19}$  個/ $\text{cm}^3$  になるように、厚さ  $25 \text{ nm}$  の Si ドープ GaN 層を成長させた。

[0105] 次に、基板 101 の温度を  $801^\circ\text{C}$ （第 3 の成長温度）に保持した状態で、低温  $n$  型窒化物半導体層 110 上に  $n$  型窒化物半導体多層構造体 121 を成長させた。具体的には、厚さ  $7 \text{ nm}$  の Si ドープ  $n$  型 InGa $\text{N}$  層、厚さ  $30 \text{ nm}$  の Si ドープ  $n$  型 GaN 層、厚さ  $7 \text{ nm}$  の Si ドープ  $n$  型 InGa $\text{N}$  層、および厚さ  $20 \text{ nm}$  の Si ドープ  $n$  型 GaN 層を交互に 2 層ずつ積層して  $n$  型窒化物半導体多層構造体 121 を成長させた。 $n$  型窒化物半導体多層構造体 121 における  $n$  型ドーパント濃度をいずれの層においても  $7 \times 10^{17}$  個/ $\text{cm}^3$  とした。また、InGa $\text{N}$  層の In 組成比を、次に成長させる  $n$  型窒化物半導体中間層（超格子層）122 を構成するナローバンドギャップ層の In 組成比と同じとした。

[0106] 次に、基板 101 の温度を  $801^\circ\text{C}$ （第 4 の成長温度）に保持した状態で、 $n$  型窒化物半導体多層構造体 121 上に  $n$  型窒化物半導体中間層（超格子層）122 を成長させた。具体的には、 $n$  型窒化物半導体多層構造体 121 上に、Si ドープ  $n$  型 GaN 層からなるワイドバンドギャップ層と、Si ド

ープn型InGa<sub>N</sub>層からなるナローバンドギャップ層とを交互に20周期成長させた。各ワイドバンドギャップ層の厚さは2.05nmであった。また、各ナローバンドギャップ層の厚さは2.05nmであった。

[0107] 各ワイドバンドギャップ層におけるn型ドーパント濃度は、多重量子井戸発光層114側に位置するワイドバンドギャップ層の5層が $1 \times 10^{19}$ 個/cm<sup>3</sup>であり、それよりも基板101側に位置するワイドバンドギャップ層が0個/cm<sup>3</sup>（アンドープ）であった。

[0108] また、フォトルミネッセンスにより発する光の波長が375nmとなるようにTM<sub>I</sub>（トリメチルインジウム）の流量を調整したため、各ナローバンドギャップ層の組成はIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N（y=0.04）であった。

[0109] 次に、基板101の温度を672℃に下げて、n型窒化物半導体中間層（超格子層）122上に多重量子井戸発光層114を成長させた。具体的には、図3に示すように、InGa<sub>N</sub>からなる第1バリア層14A（14A1～14A5）とInGa<sub>N</sub>からなる第1量子井戸層14W（14W1～14W6）とを1層ずつ交互に成長させた後、InGa<sub>N</sub>からなる第3バリア層14Uを成長させ、さらに基板101の温度を678℃に上げた後にInGa<sub>N</sub>からなる第2量子井戸層14V1とInGa<sub>N</sub>からなる第2バリア層14B1とを1層ずつ交互に成長させ、さらに基板101の温度を677℃に下げた後にInGa<sub>N</sub>からなる第2量子井戸層14V2を成長させた。各第1バリア層14A、第3バリア層14Uおよび第2バリア層14Bの厚さは4.52nmであった。最初のバリア層14AZおよび第1バリア層14A5、14A4におけるn型ドーパント濃度は $4.3 \times 10^{18}$ 個/cm<sup>3</sup>であり、その他の第1バリア層14A3、第1バリア14A2、第1バリア14A1、第3バリア層14Uおよび第2バリア層14Bはアンドープとした。

[0110] また、第2バリア層14Bの厚さを第1バリア層14Aおよび／または第3バリア層14Uよりも薄く形成した場合には、大電流密度での駆動時における光出力（P<sub>o</sub>）を向上することができる。この場合の第2バリア層14B1の厚さt<sub>4</sub>は、 $0 < t_4 < 4.52 \text{ nm}$ であることが好ましく、 $3 \text{ nm} \leq t_4$



<4.52 nmであることがより好ましい。第2バリア層14B1の厚さ $t_4$ が3 nmより薄くなると、結晶回復層としての機能が不十分となり、次に積層する第2量子井戸層14V1の結晶性が低下するため、大電流密度での駆動時において所望の光出力( $P_o$ )が得られなくなるおそれがある。

[0111] また、第1バリア層14A1にのみ、 $n$ 型ドーパントを $4 \times 10^{17}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上 $4 \times 10^{18}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以下ドーピングすると、窒化物半導体発光素子の温度特性の劣化を抑えることができるため、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の光出力( $P_o$ )を向上することができる。

[0112] なお、最初のバリア層14AZの厚さは、 $n$ 型窒化物半導体中間層(超格子層)122のうち最も多重量子井戸発光層114側に位置するナローバンドギャップ層を形成する目的で、また $n$ 型窒化物半導体中間層(超格子層)122に含まれないワイドバンドギャップ層の作用を最初のバリア層14AZに持たせる目的で、第1バリア層14A5の厚さよりも厚くしてもよい(たとえば厚さ5.52 nm)。

[0113] また、最初のバリア層14AZにおける $n$ 型ドーパント濃度を、最初のバリア層14AZの下部(最初のバリア層14AZの下面から2.05 nm以上離れた領域)においては $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ とし、最初のバリア層14AZの上部(最初のバリア層14AZの下部以外の部分)においては $4.3 \times 10^{18}$ 個/ $\text{cm}^3$ としてもよい。

[0114] また、第1バリア層14A4の下部(たとえば第1バリア層14A4の下面から3.5 nm離れた領域)にのみ $n$ 型ドーパントをドーピングし、第1バリア層14A4の上部(第1バリア層14A4の下部以外の部分)をアンドープとしてもよい。このように、第1バリア層14A4の上部をアンドープとすることにより、第1量子井戸層14W4の注入キャリアが $n$ 型にドーピングされたバリア層部分と直接接することを防止することができる。

[0115] 第1量子井戸層14Wとしてはキャリアガスとして窒素ガスを用いて、アンドープ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層( $x=0.20$ )を成長させた。各第1量子井戸層14Wの厚さは3.38 nmとした。また、第1量子井戸層14Wがフォト

ルミネッセンスにより発する光の波長が448 nmとなるように、TMIの流量を調整して、第1量子井戸層14WにおけるInの組成xを設定した。各第2量子井戸層14Vの厚さは4.24 nmとした。第2量子井戸層14Vの厚さを第1量子井戸層14Wよりも厚くすることによって、室温(25℃)環境下における光出力(Po)が向上することを見出した。理論上、第2量子井戸層14Vの厚さを10~15 nm程度の非常に厚い厚さとした場合でも、光出力(Po)の向上効果が得られるはずであるが、実際は第2量子井戸層14Vの厚さを5.6 nm以上にすると、室温(25℃)環境下における光出力(Po)の向上効果は得られなかった。

[0116] さらに、第2量子井戸層14Vとして、第2量子井戸層14V1および第2量子井戸層14V2の厚さは各々4.0 nmとした。この場合、高温(80℃)環境下(大電流密度での駆動時)における光出力(Po)がより向上することを見出した。

[0117] また、第1量子井戸層14Wが、フォトルミネッセンスにより発する光の波長が448 nmとなるようにTMIの流量を調整して、第1量子井戸層14WにおけるIn組成比を設定した。第2量子井戸層14V1およびV2の各々のIn組成比は、上述のように、基板101の温度を調整することにより、最適値に調整した。

[0118] 次に、最上層の第1量子井戸層14W1の上に、アンドープのGaN層からなる最後のバリア層14AO(厚さ10 nm)を成長させた。

[0119] 次に、基板101の温度を1000℃に上げて、最後のバリア層14AOの上面上に、p型窒化物半導体層116, 117, 118として、それぞれ、p型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 層、p型GaN層およびp型コンタクト層を成長させた。

[0120] なお、上述の各層のMOCVD成長において、Gaの原料ガスとしてはTMG(トリメチルガリウム)を用い、Alの原料ガスとしてはTMA(トリメチルアルミニウム)を用い、Inの原料ガスとしてはTMI(トリメチルインジウム)を用い、Nの原料ガスとしては $\text{NH}_3$ を用いた。また、n型ドー

パントであるSiの原料ガスとしてはSiH<sub>4</sub>を用い、p型ドーパントであるMgの原料ガスとしてはCp<sub>2</sub>Mgを用いた。

[0121] しかし、原料ガスは上記ガスに限定されず、MOCVD用原料ガスとして用いられるガスであれば限定されることなく用いることができる。具体的には、Gaの原料ガスとしてTEG（トリエチルガリウム）を用いることができ、Alの原料ガスとしてTEA（トリエチルアルミニウム）を用いることができ、Inの原料ガスとしてTEI（トリエチルインジウム）を用いることができ、Nの原料ガスとしてDMHy（ジメチルヒドラジン）などの有機窒素化合物を用いることができ、Siの原料ガスとしてSi<sub>2</sub>H<sub>6</sub>または有機Siなどを用いることができる。

[0122] そして、下部n型窒化物半導体層108の表面の一部が露出するように、p型コンタクト層（p型窒化物半導体層118）、p型GaN層（p型窒化物半導体層117）、p型AlGaN層（p型窒化物半導体層116）、多重量子井戸発光層114、n型窒化物半導体中間層（超格子層）122、n型窒化物半導体多層構造体121、低温n型窒化物半導体層110およびn型窒化物半導体変調ドーパ層109の各一部をエッチングした。このエッチングにより露出した下部n型窒化物半導体層108の上面上にAuからなるn電極124を形成した。また、p型コンタクト層118の上面上に、ITOからなる透明電極層123とAuからなるp電極125とを順に形成した。また、主として透明電極層123および上記エッチングによって露出した各層の側面を覆うように、SiO<sub>2</sub>からなる透明絶縁保護膜127を形成した。

[0123] 次に、基板101を620×680μmサイズのチップに分割した。これにより、実施例の窒化物半導体発光素子が得られた。

[0124] また、各第1量子井戸層14Wの厚さを3.38nmとし、各第2量子井戸層14V1の厚さを3.38nmとしたこと以外は実施例の窒化物半導体発光素子と同様にして、比較例の窒化物半導体発光素子を作製した。

[0125] そして、実施例の窒化物半導体発光素子と、比較例の窒化物半導体発光素

子とにそれぞれ電流密度が  $120 \text{ mA/cm}^2$  という大電流密度で駆動させた結果、実施例の窒化物半導体発光素子の発光効率は、比較例の窒化物半導体発光素子の発光効率と比較して、数%～10%改善された。

[0126] 本発明は、n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層と、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に設けられた多重量子井戸発光層とを備え、多重量子井戸発光層はp型窒化物半導体層に近い側から、第2発光層と、第3バリア層と、第1発光層とを備え、第1発光層は、複数の第1量子井戸層と、複数の第1量子井戸層の間に設けられた第1バリア層とを備え、第2発光層は、複数の第2量子井戸層と、複数の第2量子井戸層の間に設けられた第2バリア層とを備え、第2量子井戸層は第1量子井戸層よりも厚い窒化物半導体発光素子である。このような構成とすることにより、大電流密度での駆動時における発光効率を向上させることが可能な窒化物半導体発光素子を提供することができる。また、第2量子井戸層の層数は、2層とすることが好ましく、この場合には、大電流密度での駆動時における発光効率をより向上させることができる。

[0127] ここで、本発明の窒化物半導体発光素子において、第2バリア層は、第1バリア層および第3バリア層の少なくとも一方よりも薄いことが好ましい。さらに、第3バリア層は、第1バリア層と同一の厚さとすることがより好ましい。このような構成とすることにより、窒化物半導体発光素子の光出力を上昇させることができる。

[0128] また、本発明の窒化物半導体発光素子において、第2量子井戸層は、第1量子井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きいことが好ましい。このような構成とすることにより、窒化物半導体発光素子の発光ピークの半値幅を狭くすることができ、窒化物半導体発光素子の発光波長を所望の値に合わせることができる。

[0129] また、本発明の窒化物半導体発光素子においては、複数の第2量子井戸層において、p型窒化物半導体層に近い方がバンドギャップエネルギーが小さいことが好ましい。このような構成とすることにより、大電流密度での駆動

時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0130] また、本発明の窒化物半導体発光素子においては、第1量子井戸層は、 $A \text{ In}_{c1} \text{Ga}_{d1} \text{In}_{(1-c1-d1)} \text{N}$  ( $0 \leq c1 < 1$ 、 $0 < d1 \leq 1$ ) からなり、第2量子井戸層は、 $A \text{ In}_{c2} \text{Ga}_{d2} \text{In}_{(1-c2-d2)} \text{N}$  ( $0 \leq c2 < 1$ 、 $0 < d2 \leq 1$ ) からなり、第1量子井戸層のIn組成比は第2量子井戸層のIn組成比よりも大きいことが好ましい。このような構成とすることにより、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0131] また、本発明の窒化物半導体発光素子においては、複数の第2量子井戸層において、p型窒化物半導体層に近い方がIn組成比が大きいことが好ましい。このような構成とすることにより、大電流密度での駆動時における窒化物半導体発光素子の発光効率をより向上させることができる。

[0132] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

## 産業上の利用可能性

[0133] 本発明は、窒化物半導体発光素子に利用することができる。

## 符号の説明

[0134] 14W, 14W1, 14W2, 14W3, 14W4, 14W5, 14W6  
 第1量子井戸層、14A, 14A1, 14A2, 14A3, 14A4, 14A5  
 第1バリア層、14V, 14V1, 14V2  
 第2量子井戸層、14B1  
 第2バリア層、14AZ  
 最初のバリア層、14A0  
 最後のバリア層、14U  
 第3バリア層、101  
 基板、101a  
 凸部、101b  
 凹部、102  
 バッファ層、107  
 窒化物半導体下地層、108  
 下部n型窒化物半導体層、109  
 n型窒化物半導体変調ドープ層、110  
 低温n型窒化物半導体層、114  
 多重量子井戸発光層、116, 117, 118  
 p型窒化物半導体層、121  
 n型窒化物半導体多層構造体、122

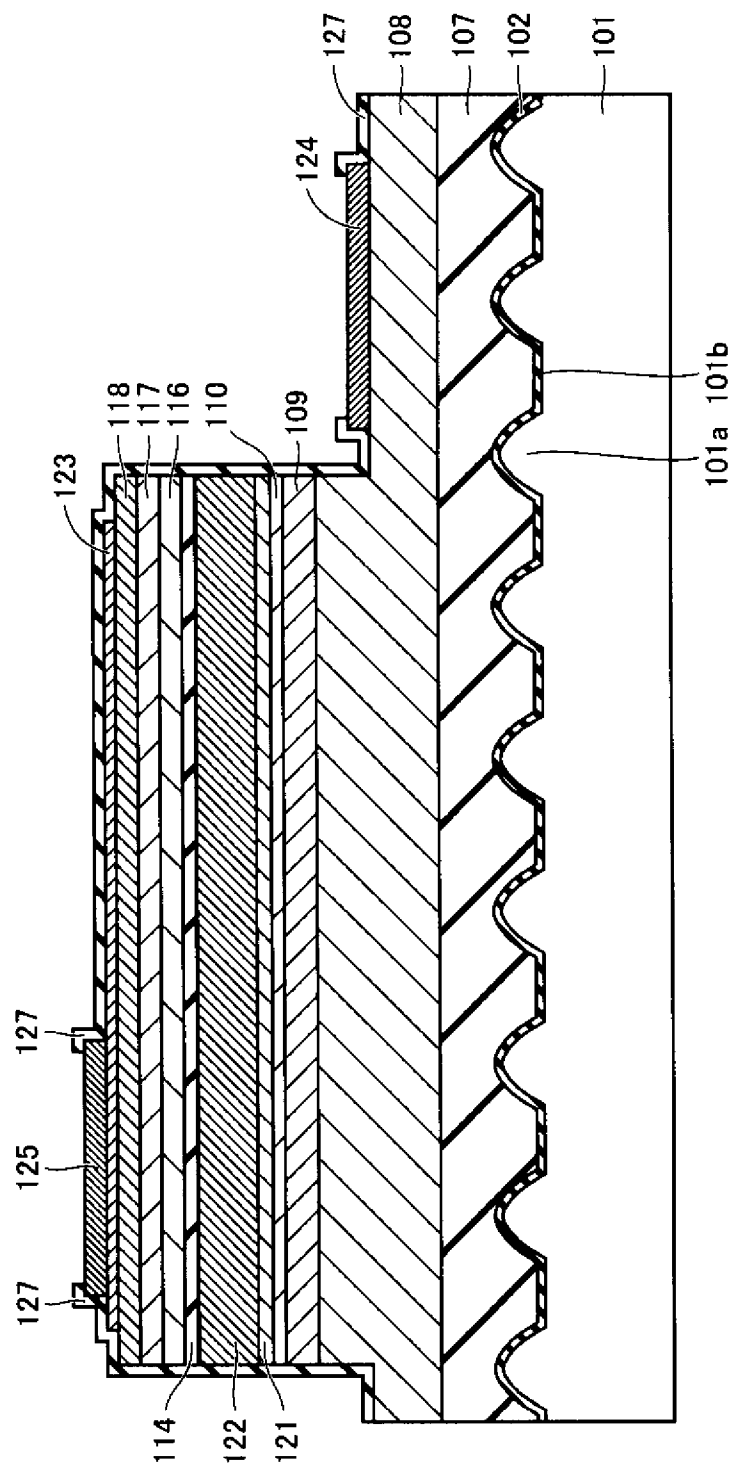
n型窒化物半導体中間層（超格子層）、1 2 3 透明電極層、1 2 4 n電極、1 2 5 p電極、1 2 7 透明絶縁保護膜、1 4 1 第1発光層、1 4 2 第2発光層。

## 請求の範囲

- [請求項1]           n 型窒化物半導体層と、  
                       p 型窒化物半導体層と、  
                       前記 n 型窒化物半導体層と前記 p 型窒化物半導体層との間に設けられた多重量子井戸発光層と、を備え、  
                       前記多重量子井戸発光層は、前記 p 型窒化物半導体層に近い側から、第 2 発光層と、第 3 バリア層と、第 1 発光層とを備え、  
                       前記第 1 発光層は、複数の第 1 量子井戸層と、前記複数の第 1 量子井戸層の間に設けられた第 1 バリア層とを備え、  
                       前記第 2 発光層は、複数の第 2 量子井戸層と、前記複数の第 2 量子井戸層の間に設けられた第 2 バリア層とを備え、  
                       前記第 2 量子井戸層は、前記第 1 量子井戸層よりも厚い、窒化物半導体発光素子。
- [請求項2]           前記第 2 バリア層は、前記第 1 バリア層よりも薄い、請求項 1 に記載の窒化物半導体発光素子。
- [請求項3]           前記第 2 量子井戸層は、前記第 1 量子井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい、請求項 1 または 2 に記載の窒化物半導体発光素子。
- [請求項4]           前記複数の第 2 量子井戸層において、前記 p 型窒化物半導体層に近い方がバンドギャップエネルギーが小さい、請求項 3 に記載の窒化物半導体発光素子。
- [請求項5]           前記第 1 量子井戸層は、 $A \text{ In}_{c1} \text{Ga}_{d1} \text{In}_{(1-c1-d1)} \text{N}$  ( $0 \leq c1 < 1$ 、 $0 < d1 \leq 1$ ) からなり、  
                       前記第 2 量子井戸層は、 $A \text{ In}_{c2} \text{Ga}_{d2} \text{In}_{(1-c2-d2)} \text{N}$  ( $0 \leq c2 < 1$ 、 $0 < d2 \leq 1$ ) からなり、  
                       前記第 1 量子井戸層の In 組成比は、前記第 2 量子井戸層の In 組成比よりも大きい、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

[図1]

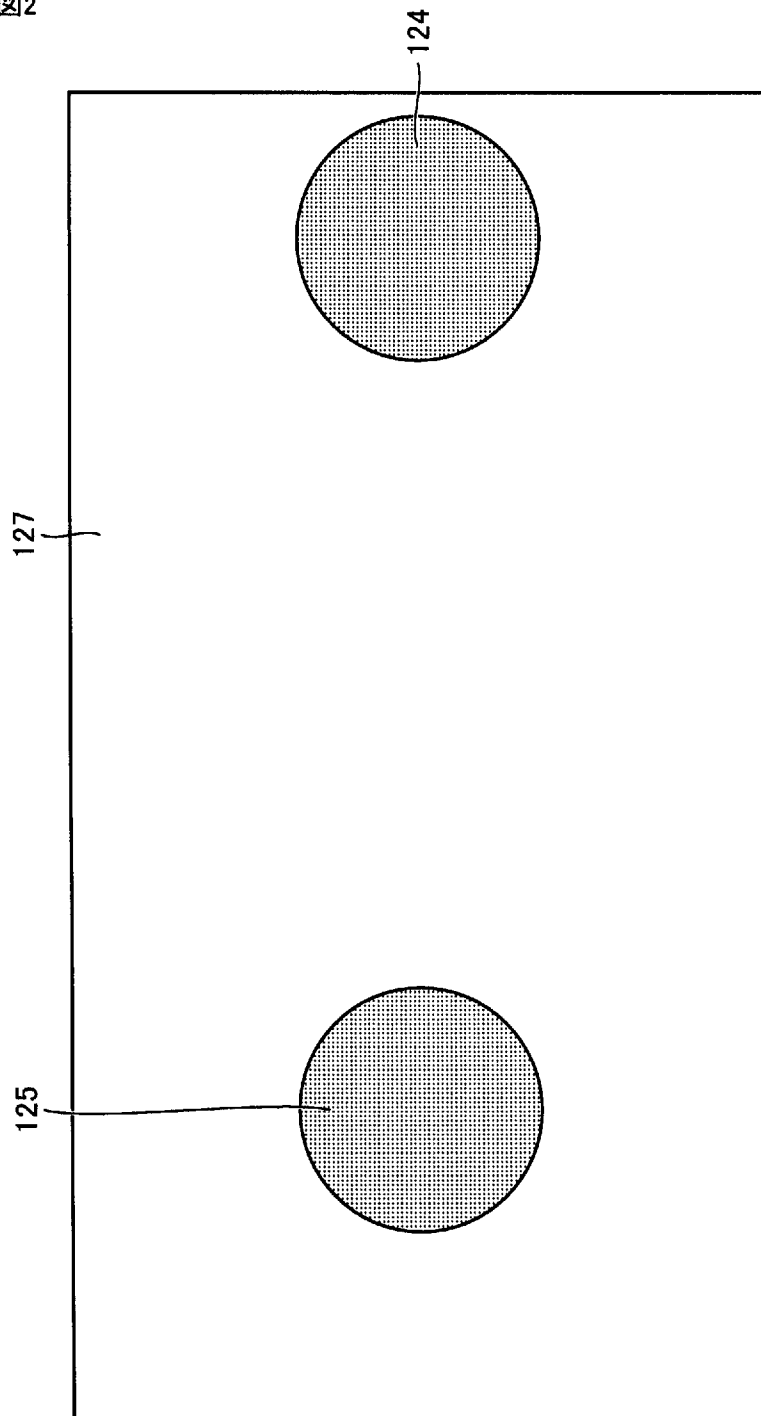
図1



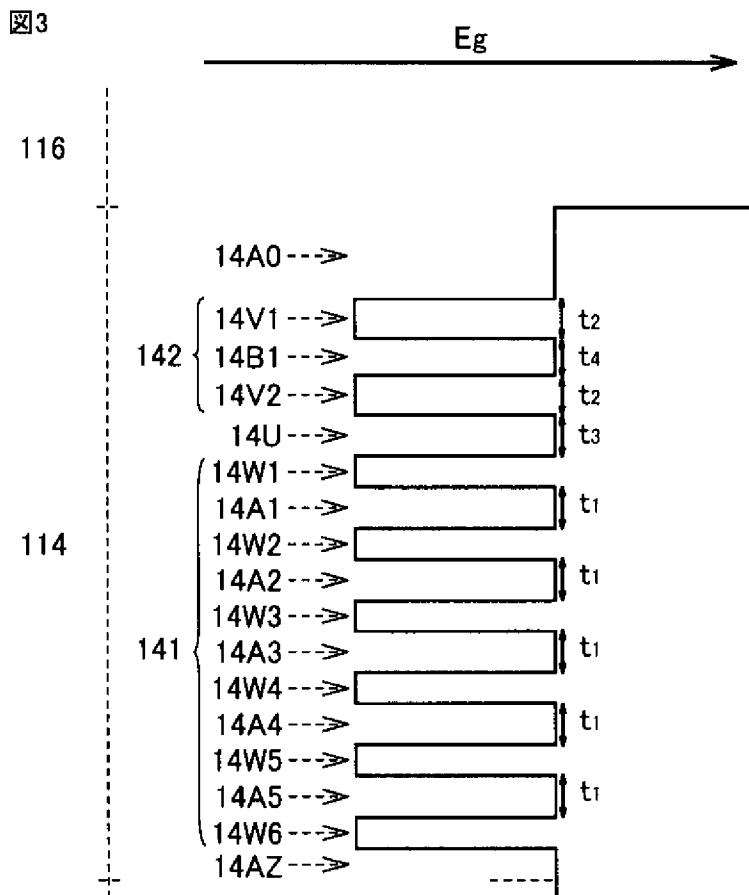


[図2]

図2

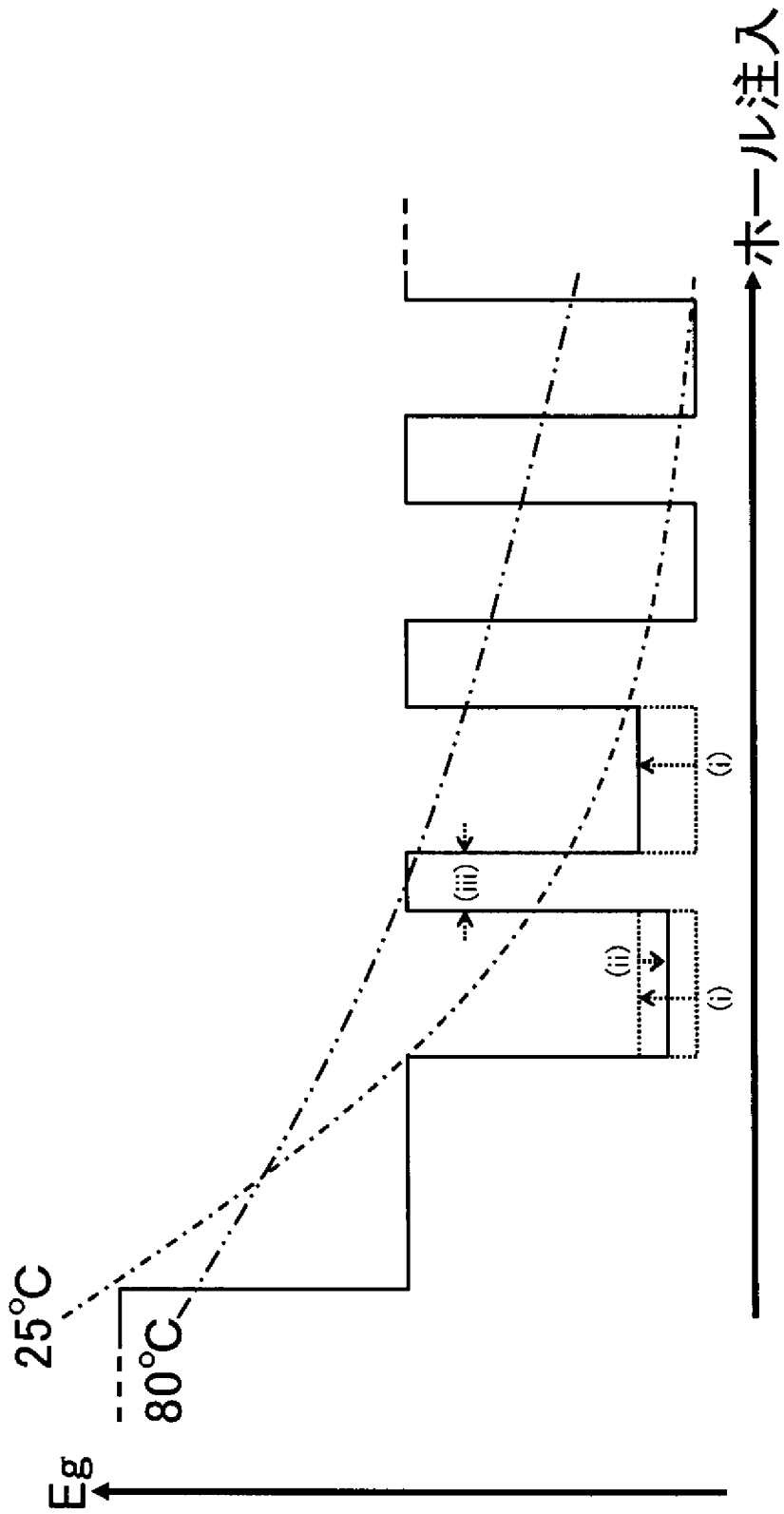


[図3]



[図4]

図4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/078042

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/06(2010.01) i, H01L33/32(2010.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L33/00-33/64

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2013 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2013 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2013 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X<br>Y    | JP 2007-115753 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.),<br>10 May 2007 (10.05.2007),<br>paragraphs [0007], [0024] to [0028], [0039] to [0042]; fig. 1, 4 to 6<br>& US 2008/0035910 A1                                                                                            | 1, 3, 5<br>2, 4       |
| Y         | JP 2011-187621 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.),<br>22 September 2011 (22.09.2011),<br>paragraphs [0005], [0009], [0021] to [0038];<br>fig. 1, 2<br>& US 2013/0001512 A1 & EP 2549599 A1<br>& WO 2011/111606 A1 & TW 201145573 A<br>& CN 102792533 A & KR 10-2013-0012115 A | 2                     |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
30 October, 2013 (30.10.13)

Date of mailing of the international search report  
12 November, 2013 (12.11.13)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/078042

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                             | Relevant to claim No. |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2004-179428 A (Rohm Co., Ltd.),<br>24 June 2004 (24.06.2004),<br>paragraph [0038]; fig. 3<br>(Family: none) | 4                     |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L33/06(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L33/00-33/64

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 3 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 3 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 3 年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                           | 関連する<br>請求項の番号  |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| X<br>Y          | JP 2007-115753 A（住友電気工業株式会社）2007.05.10, 【0007】、【0024】－【0028】、【0039】－【0042】、図1、図4－図6 & US 2008/0035910 A1                                                                                    | 1, 3, 5<br>2, 4 |
| Y               | JP 2011-187621 A（日亜化学工業株式会社）2011.09.22, 【0005】、【0009】、【0021】－【0038】、図1、図2 & US 2013/0001512 A1 & EP 2549599 A1 & WO 2011/111606 A1 & TW 201145573 A & CN 102792533 A & KR 10-2013-0012115 A | 2               |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

3 0 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 2 . 1 1 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

芝沼 隆太

2 K

4 6 3 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                     |                |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                   | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y                     | JP 2004-179428 A (ローム株式会社) 2004. 06. 24, 【0 0 3 8】、図<br>3 (ファミリーなし) | 4              |