

(43) 国際公開日
2017 年 8 月 10 日(10.08.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/134713 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/JP2016/004924

(22) 国際出願日: 2016 年 11 月 18 日(18.11.2016)

(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 2016-016986 2016 年 2 月 1 日(01.02.2016) JP

(71) 出願人: パナソニック株式会社(PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).

(72) 発明者: 美濃 卓哉(MINO, Takuya). 高野 隆好(TAKANO, Takayoshi). 野口 憲路(NOGUCHI, Norimichi). 阪井 淳(SAKAI, Jun). 後藤 浩嗣(GOTO, Koji). 平山 秀樹(HIRAYAMA, Hideki); 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 西川 恵清, 外(NISHIKAWA, Yoshikiyo et al.); 〒5300001 大阪府大阪市北区梅田 1 丁目 1 2 番 1 7 号 梅田スクエアビル 9 階 北斗特許事務所 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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).

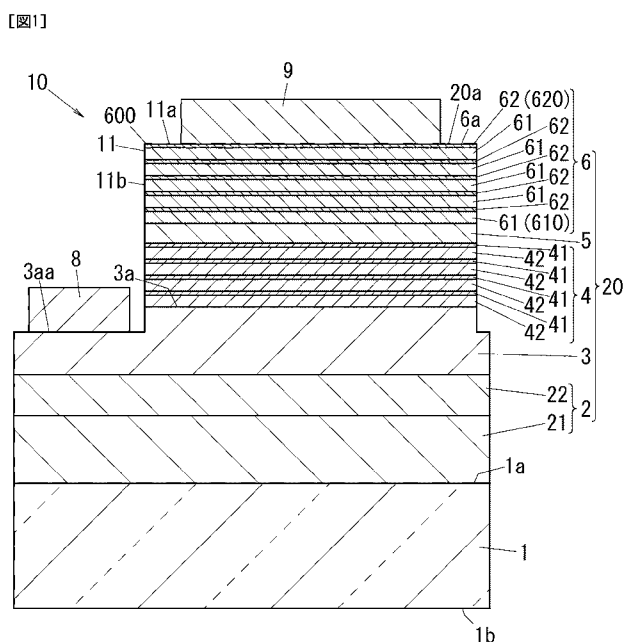
添付公開書類:
 一 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

添付公開書類:

— 國際調查報告（條約第 21 條(3)）

(54) Title: ULTRAVIOLET LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称：紫外線発光素子



(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing an ultraviolet light-emitting element capable of achieving high light output. The ultraviolet light-emitting element (10) is provided with: a laminate (20) in which an n-type AlGaIn layer (3), a light-emitting layer (4), and a p-type AlGaIn layer (6) are arranged in this order; a negative electrode (8); and a positive electrode (9). The p-type AlGaIn layer (6) has a laminated structure in which a plurality of first p-type AlGaIn layers (61) and a plurality of second p-type AlGaIn layers (62) are alternately arranged. Each of the plurality of first p-type AlGaIn layers (61) has an Al composition ratio greater than the first AlGaIn layer forming a well layer (41) of the light-emitting layer (4), and contains Mg. Each of the plurality of second p-type AlGaIn layers (62) has an Al composition ratio greater than the first AlGaIn layer, and contains Mg the concentration of which is greater than that of each of the plurality of first p-type AlGaIn layers (61).

(57) 要約: 本発明の課題は、光出力の高出力化を図ることが可能な紫外線発光素子を提供することである。紫外線発光素子(10)は、n型AlGaIn層(3)、発光層(4)及びp型AlGaIn層(6)がこの順に並んでいる積層体(20)と、負電極(8)と、正電極(9)と、を備える。p型AlGaIn層(6)は、複数の第1のp型AlGaIn層(61)と複数の第2のp型AlGaIn層(62)とが交互に並んでいる積層構造を有す

る。複数の第1のp型AlGaIn層(61)の各々は、発光層(4)の井戸層(41)を構成する第1のAlGaIn層よりもAlの組成比が大きく、かつMgを含有している。複数の第2のp型AlGaIn層(62)の各々は、第1のAlGaIn層よりもAlの組成比が大きく、かつ複数の第1のp型AlGaIn層(61)の各々よりも高い濃度でMgを含有している。

WO 2017/134713 A1

明 細 書

発明の名称： 紫外線発光素子

技術分野

[0001] 本発明は、一般に紫外線発光素子に関し、より詳細には紫外線を放射する紫外線発光素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、紫外線発光素子においてAl組成比を0.5以上としたp型AlGaIn層を用いることが提案されている（特許文献1）。

[0003] 特許文献1には、Al組成比を0.5以上としたp型AlGaIn層として、アクセプタ不純物原子が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングされたp型AlGaIn層が記載されている。

[0004] また、特許文献1には、上述のp型AlGaIn層を用いることにより、300nm以下の深紫外領域で発光する発光ダイオード及びレーザダイオードを製造することも可能となる旨が記載されている。

[0005] Al組成比の高いp型AlGaIn層を必要とする紫外線発光素子の分野においては、光出力の高出力化が望まれている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：WO2008/117750

発明の概要

[0007] 本発明の目的は、光出力の高出力化を図ることが可能な紫外線発光素子を提供することにある。

[0008] 本発明に係る一態様の紫外線発光素子は、n型AlGaIn層、発光層及びp型AlGaIn層がこの順に並んでいる積層体と、前記n型AlGaIn層の前記発光層側の表面において前記発光層で覆われていない部位に直接設けられている負電極と、前記p型AlGaIn層の表面上に直接設けられている正電極と、を備える。前記発光層は、複数の障壁層と複数の井戸層とが交互に

並んでいる多重量子井戸構造を有する。前記複数の井戸層の各々は、第1のA l G a N層により構成されている。前記複数の障壁層の各々は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きな第2のA l G a N層により構成されている。前記n型A l G a N層は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きい。前記p型A l G a N層は、複数の第1のp型A l G a N層と複数の第2のp型A l G a N層とが交互に並んでいる積層構造を有する。前記複数の第1のp型A l G a N層の各々は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きく、かつMgを含有している。前記複数の第2のp型A l G a N層の各々は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きく、かつ前記複数の第1のp型A l G a N層の各々よりも高い濃度でMgを含有している。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、本発明の一実施形態に係る紫外線発光素子の概略断面図である。

[図2]図2は、単層構造のp型A l G a N層を有する紫外線発光素子のMgの濃度と光出力比との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] 下記の実施形態において説明する図1は、模式的な図であり、図1中の各構成要素の大きさや厚さそれぞれの比が、必ずしも実際の寸法比を反映しているとは限らない。

[0011] (実施形態)

以下では、本実施形態の紫外線発光素子10について、図1に基づいて説明する。

[0012] 紫外線発光素子10は、n型A l G a N層3、発光層4及びp型A l G a N層6がこの順に並んでいる積層体20を備える。また、紫外線発光素子10は、n型A l G a N層3の発光層4側の表面3aにおいて発光層4で覆われていない部位3aaに直接設けられている負電極8と、p型A l G a N層6の表面6a上に直接設けられている正電極9と、を備える。

- [0013] 発光層4は、複数の障壁層42と複数の井戸層41とが交互に並んでいる多重量子井戸構造を有する。複数の井戸層41の各々は、第1のAlGaIn層により構成されている。複数の障壁層42の各々は、第1のAlGaIn層よりもAlの組成比が大きな第2のAlGaIn層により構成されている。第1のAlGaIn層及び第2のAlGaIn層は、アンドープのAlGaIn層である。第1のAlGaIn層及び第2のAlGaIn層は、それぞれの成長時に不可避免的に混入されるMg、H、Si、C、O等の不純物が存在してもよい。本明細書において、不純物(Mg、H、Si、C、O)の濃度は、SIMS (secondary ion mass spectroscopy) によって測定した値である。アンドープのAlGaIn層の不純物の濃度に関しては、Mgの濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、Hの濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、Siの濃度が $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、Cの濃度が $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、Oの濃度が $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であったが、これら不純物の濃度が上記数値に限定されない。アンドープのAlGaIn層の不純物の濃度に関しては、Mgの濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、Hの濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下、Siの濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、Cの濃度が $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、Oの濃度が $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。これに対して、n型AlGaIn層3は、その成長時にSiがドーピングされており、Siを含有している。p型AlGaIn層6は、複数の第1のp型AlGaIn層61と複数の第2のp型AlGaIn層62とが交互に並んでいる積層構造を有する。複数の第1のp型AlGaIn層61及び複数の第2のp型AlGaIn層62は、それぞれの成長時にMgがドーピングされており、Mgを含有している。
- [0014] 紫外線発光素子10は、積層体20を支持する基板1を更に備える。積層体20は、基板1の一表面1a上に設けられている。n型AlGaIn層3、発光層4及びp型AlGaIn層6は、基板1の一表面1aからこの順に並んでいる。紫外線発光素子10では、積層体20が、基板1とn型AlGaIn層3との間に介在するバッファ層2を備えるのが好ましい。また、紫外線発光素子10は、発光層4とp型AlGaIn層6との間に電子ブロック層5を備えるのが好ましい。電子ブロック層5は、積層体20の厚さ方向において

発光層 4 側からの電子をブロックするための層である。

[0015] 紫外線発光素子 10 は、メサ構造 (mesa structure) 11 を有している。メサ構造 11 は、バッファ層 2、n 型 AlGaIn 層 3、発光層 4、電子ブロック層 5 及び p 型 AlGaIn 層 6 を含む積層体 20 の一部を、積層体 20 の表面 20a 側から n 型 AlGaIn 層 3 の途中までエッチングすることで形成されている。紫外線発光素子 10 は、p 型 AlGaIn 層 6 の表面 6a と、積層体 20 の表面 20a と、メサ構造 11 の上面 11a とが、同一の表面により構成される。

[0016] 紫外線発光素子 10 では、n 型 AlGaIn 層 3 の発光層 4 側の表面 3a において発光層 4 に覆われていない部位 3aa 上に、負電極 8 が直接設けられ、p 型 AlGaIn 層 6 の表面 6a 上に、正電極 9 が直接設けられている。要するに、紫外線発光素子 10 では、この紫外線発光素子 10 の厚さ方向の一面側に負電極 8 及び正電極 9 が配置されている。ここで、「紫外線発光素子 10 の厚さ方向の一面」とは、n 型 AlGaIn 層 3 の発光層 4 側の表面 3a において発光層 4 に覆われていない部位 3aa 及び p 型 AlGaIn 層 6 の表面 6a を含む。ここで、n 型 AlGaIn 層 3 の表面 3a において発光層 4 に覆われている部位と覆われていない部位 3aa との間には段差がある。負電極 8 は、n 型 AlGaIn 層 3 に電氣的に接続されている。要するに、紫外線発光素子 10 では、発光層 4 へ電子を輸送するための n 型 AlGaIn 層 3 が n 型コンタクト層を兼ねている。正電極 9 は、p 型 AlGaIn 層 6 に電氣的に接続されている。要するに、紫外線発光素子 10 では、発光層 4 へ正孔を輸送するための p 型 AlGaIn 層 6 が p 型コンタクト層を兼ねている。

[0017] 紫外線発光素子 10 では、メサ構造 11 の上面 11a の一部とメサ構造 11 の側面 11b と n 型 AlGaIn 層 3 の表面 3a において発光層 4 に覆われていない部位 3aa とに跨って電気絶縁膜 (図示せず) が形成されているのが好ましい。電気絶縁膜の材料は、例えば、SiO₂ 等である。

[0018] 紫外線発光素子 10 の各構成要素については、以下に、より詳細に説明する。

[0019] 本明細書において、組成比は、EDX法（energy dispersive X-ray spectroscopy）による組成分析で求めた値である。組成比の相対的な大小関係を議論する上では、組成比は、EDX法に限らず、例えば、オージェ電子分光法（auger electron spectroscopy）による組成分析で求めた値でもよい。また、本明細書において、Mgの濃度の深さプロファイルは、SIMSによって測定した深さプロファイルである。

[0020] 紫外線発光素子10は、直方体状のLEDチップ（light emitting diode chip）である。LEDチップは、LEDダイ（light emitting diode die）とも呼ばれる。ここで、紫外線発光素子10の平面視形状は、例えば、正形状である。「紫外線発光素子10の平面視形状」とは、紫外線発光素子10の厚さ方向の一方向から見た紫外線発光素子10の外周形状である。紫外線発光素子10の平面視でのチップサイズ（chip size）は、例えば、 $400\mu\text{m}\square$ （ $400\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$ ）である。紫外線発光素子10のチップサイズは、 $400\mu\text{m}\square$ （ $400\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$ ）に限らず、例えば、 $200\mu\text{m}\square$ （ $200\mu\text{m}\times 200\mu\text{m}$ ）～ $1\text{mm}\square$ （ $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ ）程度の範囲で適宜設定することができる。また、紫外線発光素子10の平面視形状は、正形状に限らず、例えば、長形状等でもよい。

[0021] 紫外線発光素子10は、UV-Cの波長域の紫外線を放射するように発光層4の井戸層41を構成してある。「UV-Cの波長域」とは、例えば国際照明委員会（CIE）における紫外線の波長による分類によれば、 $100\text{nm}\sim 280\text{nm}$ である。ここで、紫外線発光素子10では、井戸層41を構成する第1のAlGaIn層におけるAlの組成比が0.45である。これにより、紫外線発光素子10の発光ピーク波長は、 275nm である。ここでいう「発光ピーク波長」は、室温（ 27°C ）での主発光ピーク波長である。また、「紫外線発光素子10の発光ピーク波長」は、発光層4から放射されて紫外線発光素子10から出射される紫外線の発光ピーク波長である。

[0022] 紫外線発光素子10において積層体20を支持している基板1は、サファイア基板である。基板1の一表面1a（以下、「第1面1a」ともいう）は

、(0001)面、つまり、c面であるのが好ましい。また、基板1の第1面1aは、(0001)面からのオフ角が、 $0^{\circ} \sim 0.4^{\circ}$ であるのが好ましく、 $0.1^{\circ} \sim 0.31^{\circ}$ であるのがより好ましく、 $0.21^{\circ} \sim 0.31^{\circ}$ であるのが更に好ましい。ここにおいて、「オフ角」とは、(0001)面に対する第1面1aの傾斜角である。したがって、オフ角が 0° であれば、第1面1aは、(0001)面である。紫外線発光素子10では、基板1において第1面1aとは反対の第2面1bが、紫外線を出射させる光取り出し面を構成している。基板1の厚さは、例えば、 $100\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 程度であるのが好ましい。基板1の第1面1aは、c面に限らず、例えば、m面、a面、R面等でもよい。

[0023] 基板1の一表面1a上に設けられている積層体20では、バッファ層2、n型AlGaIn層3、発光層4、電子ブロック層5及びp型AlGaIn層6が、この順に並んでいる。積層体20は、エピタキシャル成長法により形成することができる。エピタキシャル成長法は、例えば、MOVPE (metal organic vapor phase epitaxy) 法を採用するのが好ましい。エピタキシャル成長法は、MOVPE法に限らず、例えば、HVPE (hydride vapor phase epitaxy) 法、MBE (molecular beam epitaxy) 法等を採用してもよい。

[0024] 紫外線発光素子10は、基板1とn型AlGaIn層3との間に介在するバッファ層2を備えるのが好ましい。要するに、紫外線発光素子10では、n型AlGaIn層3は、基板1の一表面1a上に、バッファ層2を介して形成されているのが好ましい。

[0025] バッファ層2は、n型AlGaIn層3、発光層4、電子ブロック層5及びp型AlGaIn層6の結晶性の向上を目的として設けた層である。紫外線発光素子10は、バッファ層2を備えることにより、転位密度を低減することが可能となり、n型AlGaIn層3、発光層4、電子ブロック層5及びp型AlGaIn層6の結晶性の向上を図ることが可能となる。よって、紫外線発光素子10は、発光効率の向上を図ることが可能となる。

[0026] バッファ層2は、基板1の一表面1a上に直接形成されている第1のバッ

ファ層 2 1 と、第 1 のバッファ層 2 1 上に直接形成されている第 2 のバッファ層 2 2 と、を含む。第 1 のバッファ層 2 1 は、例えば、A l N 層により構成されているのが好ましい。第 2 のバッファ層 2 2 は、n 型 A l G a N 層 3 よりも A l の組成比が大きく n 型 A l G a N 層 3 よりも第 1 のバッファ層 2 1 との格子定数差の小さな A l G a N 層により構成されている。より詳細には、第 2 のバッファ層 2 2 は、A l の組成比が 0.90 の A l G a N 層（つまり、A l_{0.90}G a_{0.10}N 層）により構成されている。

[0027] 紫外線発光素子 1 0 では、第 1 のバッファ層 2 1 が薄すぎると、貫通転位の減少が不十分となりやすい。バッファ層 2 の転位密度は、 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 以下であるのが好ましい。また、紫外線発光素子 1 0 では、第 1 のバッファ層 2 1 が厚すぎると、第 1 のバッファ層 2 1 と基板 1 との格子不整合に起因したクラックの発生や、基板 1 からのバッファ層 2 の剥れや、複数個の紫外線発光素子 1 0 を形成するウェハの反りが大きくなり過ぎる要因になる懸念がある。よって、第 1 のバッファ層 2 1 の厚さは、例えば、 $3 \mu\text{m}$ 以上 $6 \mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。第 2 のバッファ層 2 2 の厚さは、例えば、 30 nm 以上 100 nm 以下であるのが好ましい。紫外線発光素子 1 0 では、バッファ層 2 が第 1 のバッファ層 2 1 のみにより構成されていてもよい。

[0028] 紫外線発光素子 1 0 では、第 1 のバッファ層 2 1 及び第 2 のバッファ層 2 2 それぞれのバンドギャップエネルギーが、発光層 4 における複数の井戸層 4 1 の各々のバンドギャップエネルギーよりも大きい。これにより、紫外線発光素子 1 0 では、発光層 4 から放射された紫外線がバッファ層 2 で吸収されるのを抑制することが可能となり、光取り出し効率の向上を図ることが可能となる。

[0029] 紫外線発光素子 1 0 において、n 型 A l G a N 層 3 は、発光層 4 へ電子を輸送するための層である。n 型 A l G a N 層 3 の A l の組成比は、発光層 4 で発光する紫外線の n 型 A l G a N 層 3 での吸収が抑制されるように設定されているのが好ましい。例えば、井戸層 4 1 の A l の組成比が 0.45、障壁層 4 2 の A l の組成比が 0.60 の場合、n 型 A l G a N 層 3 の A l の組

成比は、障壁層42のAlの組成比と同じ0.60である。n型AlGaIn層3のAlの組成比は、障壁層42のAlの組成比と同じである場合に限らず、異なってもよい。

[0030] n型AlGaIn層3のAlの組成比は、例えば、発光層4における井戸層41のAlの組成比が0.45の場合、0.50以上0.70以下であるのが好ましい。紫外線発光素子10は、n型AlGaIn層3のAlの組成比が0.50未満の場合、発光層4から放射される紫外線がn型AlGaIn層3で吸収されやすくなり、光取り出し効率が低下してしまうと推考される。また、紫外線発光素子10は、n型AlGaIn層3のAlの組成比が0.70よりも大きい場合、n型AlGaIn層3と発光層4との格子定数差が大きくなり、発光層4に欠陥が生じやすくなる。

[0031] n型AlGaIn層3は、Siを含有している。n型AlGaIn層3は、負電極8との良好なオーミック接触 (ohmic contact) を実現するためのn型コンタクト層を兼ねている。n型AlGaIn層3のSiの濃度は、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。紫外線発光素子10は、n型AlGaIn層3のSiの濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満の場合、負電極8とn型AlGaIn層3とのオーミック接触を形成できなかつたり、オーミック性が低下してしまう。また、紫外線発光素子10は、n型AlGaIn層3のSiの濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも高い場合、n型AlGaIn層3の結晶性が低下してしまう。

[0032] n型AlGaIn層3の厚さは、例えば、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。紫外線発光素子10は、上述のメサ構造11を有し、紫外線発光素子10の厚さ方向の一面側に負電極8及び正電極9が配置されているので、n型AlGaIn層3の厚さが $1 \mu\text{m}$ 未満の場合、n型AlGaIn層3における電流経路が狭くなり、駆動電圧が高くなってしまう。また、紫外線発光素子10は、n型AlGaIn層3の厚さが $3 \mu\text{m}$ よりも大きい場合、n型AlGaIn層3での歪の蓄積により、クラックが発生してしまうことがある。

[0033] n型AlGaIn層3は、単層構造に限らず、例えば、互いにAlの組成比

の異なる複数の n 型AlGaIn層の積層構造でもよい。

- [0034] 積層体20の厚さ方向において n 型AlGaIn層3と p 型AlGaIn層6との間にある発光層4は、井戸層41に注入された2種類のキャリア（電子、正孔）の再結合により光（紫外線）を放射する層である。
- [0035] 発光層4では、積層体20の厚さ方向において、複数の障壁層42と複数の井戸層41とが交互に並んでいる。これにより、発光層4は、多重量子井戸構造を有している。紫外線発光素子10における発光層4は、井戸層41及び障壁層42それぞれの数を4つずつとしてある。
- [0036] 発光層4は、井戸層41を構成する第1のAlGaIn層のAlの組成比を変えることにより、発光ピーク波長を、210nm～360nmの範囲で任意の発光ピーク波長に設定することが可能である。発光層4は、UV-Cの波長域の紫外線を放射する井戸層41を備える。井戸層41は、紫外線発光素子10の発光ピーク波長が例えば275nmとなるように、第1のAlGaIn層のAlの組成比を0.45としてある。すなわち、第1のAlGaIn層は、 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{In}$ 層である。これに対して、障壁層42を構成する第2のAlGaIn層のAlの組成比は、0.60としてある。すなわち、第2のAlGaIn層は、 $\text{Al}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{In}$ 層である。
- [0037] 複数の井戸層41の各々の厚さは、0.5nm以上3nm以下であるのが好ましい。紫外線発光素子10は、井戸層41の厚さが0.5nm未満の場合、発光効率が低下してしまう傾向にある。これは、井戸層41の厚さが0.5nm未満の場合、発光層4のキャリアの閉じ込め効果が低下するためであると推考される。また、紫外線発光素子10は、井戸層41の厚さが3nmよりも大きい場合、発光効率が低下してしまう傾向にある。これは、井戸層41の厚さが3nmよりも大きい場合、発光層4のキャリアの閉じ込め効果が低下し、井戸層41に注入されたキャリアの電子と正孔とが再結合する前に、井戸層41から漏れやすくなるためであると推考される。
- [0038] 複数の障壁層42の各々の厚さは、2nm以上20nm以下であるのが好ましい。紫外線発光素子10は、障壁層42の厚さが2nm未満の場合、障

壁層 4 2 によってキャリアが井戸層 4 1 に閉じ込められるというキャリアの閉じ込め効果が低下し、キャリアが井戸層 4 1 から漏れやすくなって発光効率が低下してしまうと推考される。また、紫外線発光素子 1 0 は、障壁層 4 2 の厚さが 2 0 n m よりも大きい場合、井戸層 4 1 へキャリアが注入されなくなる懸念がある。

[0039] 障壁層 4 2 を構成する第 2 の A l G a N 層は、アンドープの A l G a N 層であるが、これに限らず、S i を含有していてもよい（S i ドープの A l G a N 層でもよい）。この場合、S i の濃度は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。これにより、紫外線発光素子 1 0 は、格子不整合に起因するピエゾ電界により発生する歪を緩和することが可能となり、発光効率の向上を図ることが可能となる。紫外線発光素子 1 0 は、障壁層 4 2 の S i の濃度が、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満の場合、ピエゾ電界により発生する歪を緩和する効果が低下してしまう。また、紫外線発光素子 1 0 は、障壁層 4 2 の S i の濃度が、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、障壁層 4 2 の結晶性が低下する傾向にある。

[0040] 発光層 4 と p 型 A l G a N 層 6 との間に設けられる電子ブロック層 5 は、発光層 4 側からの電子をブロックする機能を有する。言い換えれば、電子ブロック層 5 は、n 型 A l G a N 層 3 から発光層 4 へ注入された電子のうち、発光層 4 中で正孔と再結合されなかった電子が、p 型 A l G a N 層 6 へ漏れる（オーバーフローする）のを抑制するための層である。電子ブロック層 5 は、発光層 4 と p 型 A l G a N 層 6 において最も発光層 4 に近い第 1 の p 型 A l G a N 層 6 1（6 1 0）との間に介在している。

[0041] 電子ブロック層 5 は、第 3 の p 型 A l G a N 層により構成されている。第 3 の p 型 A l G a N 層は、p 型 A l G a N 層 6 の第 1 の p 型 A l G a N 層 6 1 及び第 2 の p 型 A l G a N 層 6 2 それぞれよりも A l の組成比が大きく、かつ、M g を含有している。第 3 の p 型 A l G a N 層の A l の組成比は、一例として、0. 9 0 であるが、この数値に限定されない。

[0042] 電子ブロック層 5 の厚さについては、電子ブロック層 5 の A l の組成比、

Mgの濃度等によって適した厚さが変わるので一概には言えないが、1 nm～50 nmであるのが好ましく、5 nm～25 nmであるのがより好ましい。電子ブロック層5のMgの濃度は、p型AlGaIn層6の第1のp型AlGaIn層61及び第2のp型AlGaIn層62それぞれのMgの濃度よりも低いのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10では、電子ブロック層5の結晶性を向上させることが可能となる。

[0043] p型AlGaIn層6は、発光層4へ正孔を輸送するための層である。p型AlGaIn層6は、正電極9との良好なオーミック接触を実現するためのp型コンタクト層を兼ねている。

[0044] p型AlGaIn層6は、積層体20の厚さ方向において、複数の第1のp型AlGaIn層61と複数の第2のp型AlGaIn層62とが交互に並んでいる積層構造を有する。複数の第1のp型AlGaIn層61及び複数の第2のp型AlGaIn層62は、それぞれの成長時にMgがドーピングされており、Mgを含有している。紫外線発光素子10におけるp型AlGaIn層6は、第1のp型AlGaIn層61及び第2のp型AlGaIn層62それぞれの数を5つずつとしてある。

[0045] 複数の第1のp型AlGaIn層61及び複数の第2のp型AlGaIn層62のAlの組成比は、発光層4で発光する紫外線の複数の第1のp型AlGaIn層61の各々及び複数の第2のp型AlGaIn層62の各々での吸収を抑制できるように設定されているのが好ましい。したがって、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々及び複数の第2のp型AlGaIn層62の各々のAlの組成比は、複数の井戸層41（第1のAlGaIn層）の各々よりもAlの組成比が大きいのが好ましく、複数の障壁層42（第2のAlGaIn層）の各々よりもAlの組成比が大きいのがより好ましい。複数の井戸層41（第1のAlGaIn層）の各々のAlの組成比が0.45、複数の障壁層42（第2のAlGaIn層）の各々のAlの組成比が0.60の場合、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々及び複数の第2のp型AlGaIn層62の各々のAlの組成比は、例えば、0.65であるのが好ましい。すなわ

ち、複数の井戸層41（第1のAlGaIn層）の各々がAl_{0.45}Ga_{0.55}In層からなる場合、第1のp型AlGaIn層61及び第2のp型AlGaIn層62は、互いにMgの濃度の異なるp型Al_{0.65}Ga_{0.35}In層であるのが好ましい一例である。

[0046] 複数の第1のp型AlGaIn層61及び複数の第2のp型AlGaIn層62は、電子ブロック層5（第3のp型AlGaIn層）よりも高い濃度でMgを含有している。

[0047] 複数の第2のp型AlGaIn層62の各々は、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々よりも高い濃度でMgを含有している。

[0048] ところで、本願発明者らは、p型コンタクト層を兼ねるp型AlGaIn層6を備えた紫外線発光素子10を開発する際に、紫外線発光素子10と基本構造が略同じ参考例1～7の紫外線発光素子を作製した。そして、本願発明者らは、参考例1～7の紫外線発光素子それぞれについて、20mAの直流電流を流したときの光出力[W]の測定を行った。参考例1～7の紫外線発光素子は、実施形態の紫外線発光素子10における多層構造を有するp型AlGaIn層6の代わりに、単層構造のp型AlGaIn層を採用している点のみで実施形態の紫外線発光素子10と相違する。単層構造のp型AlGaIn層の厚さは、60nmである。参考例1～7の紫外線発光素子は、p型AlGaIn層のMgの濃度が互いに異なる。より詳細には、参考例1、2、3、4、5、6及び7の紫外線発光素子におけるp型AlGaIn層のMgの濃度は、それぞれ、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、 $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 及び $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。光出力は、積分球及び分光器を利用して測定した値である。図2は、p型AlGaIn層のMgの濃度と光出力比との関係を示すグラフである。「光出力比」は、Mgの濃度を $10 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ （つまり、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ）とした参考例3の紫外線発光素子の光出力を基準値とした相対的な値である。図2から、本願発明者らは、p型コンタクト層を単層構造のp型AlGaIn層により構成した紫外線発光素子では、p型AlGaIn層のMgの濃度を $8 \times$

$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることにより、Mgの濃度を $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とした場合に比べて光出力の向上を図れるという知見を得た。また、図2から、本願発明者らは、p型コンタクト層を単層構造のp型AlGaIn層により構成した紫外線発光素子では、p型AlGaIn層のMgの濃度を $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることにより、Mgの濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とした場合からの光出力の低下を抑制することが可能になるという知見を得た。

[0049] また、本願発明者らは、単層構造のp型AlGaIn層において電子ブロック層から離れるにつれてMgの濃度を段階的に高くした評価用のサンプルを作製し、断面TEM像 (cross-sectional transmission electron microscope image) を観察した。その結果、本願発明者らは、p型AlGaIn層のMgの濃度の最大値が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高い評価用のサンプルでは、柱状構造の結晶の集合体となることを断面TEM像により確認した。評価用サンプルにおける単層構造のp型AlGaIn層の厚さは、60nmである。

[0050] そして、本願発明者らは、図2及び断面TEM像の観察結果から、単層構造のp型AlGaIn層においてMgの濃度の最大値が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高い紫外線発光素子では、単層構造のp型AlGaIn層の結晶性が低下し、紫外線発光素子の光出力が低下してしまうと推考した。

[0051] これに対して、紫外線発光素子10では、コンタクト層を兼ねるp型AlGaIn層6が、複数の第1のp型AlGaIn層61と複数の第2のp型AlGaIn層62とが交互に並んでいる積層構造を有する。そして、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々は、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々よりも高い濃度でMgを含有している。よって、紫外線発光素子10では、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々のMgの濃度の高濃度化によるp型AlGaIn層6の導電性の向上を図りながらも、p型AlGaIn層6の結晶性の低下を抑制し、光出力の高出力化を図ることが可能となる。

[0052] ここで、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々の厚さは、5nm以上20nm以下であるのが好ましい。複数の第2のp型AlGaIn層62の各

々の厚さは、0.5 nm以上5 nm以下であるのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10では、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々のMgの濃度を $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とし、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々のMgの濃度を $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下としても、p型AlGaIn層6の結晶性の低下を抑制することが可能になり、光出力の高出力化を図ることが可能となる。0.5 nmは、第2のp型AlGaIn層62の格子定数に対応する値である。

[0053] 紫外線発光素子10の駆動電圧を低減する観点から、p型AlGaIn層6の厚さは、200 nm以下が好ましく、100 nm以下がより好ましい。また、p型AlGaIn層6の電気的特性の面内ばらつきを小さくする観点から、p型AlGaIn層6の厚さは、30 nm以上であるのが好ましく、50 nm以上であるのがより好ましい。

[0054] 複数の第1のp型AlGaIn層61のMgの濃度は、同じであるが、互いに異なってもよい。また、複数の第1のp型AlGaIn層61の厚さは、同じであるが、互いに異なってもよい。

[0055] 複数の第2のp型AlGaIn層62のMgの濃度は、同じであるが、互いに異なってもよい。また、複数の第2のp型AlGaIn層62の厚さは、同じであるが、互いに異なってもよい。

[0056] 紫外線発光素子10では、第1のp型AlGaIn層61の数と第2のp型AlGaIn層の数とが同じとしてあるが、異なってもよい。

[0057] 負電極8は、n型AlGaIn層3とオーミック接触を得るために、n型AlGaIn層3の表面3aにおいて発光層4に覆われていない部位3aa上に形成されているコンタクト用電極である。負電極8は、一例として、第1のTi層とAl層と第2のTi層とAu層との積層膜（以下、「第1積層膜」ともいう）をn型AlGaIn層3の部位3aa上に形成してから、アニール処理を行うことにより形成されている。一例として、第1積層膜における、第1のTi層、Al層、第2のTi層及びAu層の厚さは、それぞれ、20 nm、50 nm、20 nm及び100 nmである。

- [0058] 正電極 9 は、p 型 A l G a N 層 6 とオーミック接触を得るために、p 型 A l G a N 層 6 の表面 6 a 上に形成されているコンタクト用電極である。正電極 9 は、一例として、N i 層と A u 層との積層膜（以下、「第 2 積層膜」ともいう）を p 型 A l G a N 層 6 の表面 6 a 上に形成してから、アニール処理を行うことにより形成されている。一例として、第 2 積層膜における、N i 層及び A u 層の厚さは、それぞれ、2 0 n m、1 5 0 n m である。
- [0059] 紫外線発光素子 1 0 は、負電極 8 上に、第 1 パッド電極を備えているのが好ましい。第 1 パッド電極は、外部接続用電極である。第 1 パッド電極は、例えば、負電極 8 上の T i 膜と当該 T i 膜上の A u 膜との積層膜である。第 1 パッド電極は、負電極 8 に電氣的に接続される。第 1 パッド電極は、負電極 8 を覆っているのが好ましい。
- [0060] また、紫外線発光素子 1 0 は、正電極 9 上に、第 2 パッド電極を備えているのが好ましい。第 2 パッド電極は、外部接続用電極である。第 2 パッド電極は、例えば、正電極 9 上の T i 膜と当該 T i 膜上の A u 膜との積層膜である。第 2 パッド電極は、正電極 9 に電氣的に接続される。第 2 パッド電極は、正電極 9 を覆っているのが好ましい。
- [0061] 紫外線発光素子 1 0 は、U V - C の波長域の紫外線を放射するように構成される場合に限らず、例えば、U V - B の波長域の紫外線を放射するように構成されていてもよい。「U V - B の波長域」とは、例えば国際照明委員会における紫外線の波長による分類によれば、2 8 0 n m ~ 3 1 5 n m である。
- [0062] 以下では、紫外線発光素子 1 0 の製造方法について簡単に説明する。
- [0063] 紫外線発光素子 1 0 の製造方法では、まず、複数の紫外線発光素子 1 0 それぞれの基板 1 の元になるウェハ（サファイアウェハ）を準備する。
- [0064] 紫外線発光素子 1 0 の製造方法では、ウェハを準備した後、ウェハの前処理を行ってから、ウェハをエピタキシャル成長装置に導入し、その後、ウェハの第 1 面上に積層体 2 0 をエピタキシャル成長法により積層する。ウェハの第 1 面は、基板 1 の第 1 面 1 a に相当する表面である。エピタキシャル成

長装置としてMOVPE装置を採用する場合、Alの原料ガスとしては、トリメチルアルミニウム（TMAI）を採用するのが好ましい。また、Gaの原料ガスとしては、トリメチルガリウム（TMGa）を採用するのが好ましい。Nの原料ガスとしては、NH₃を採用するのが好ましい。n型導電性を付与する不純物であるSiの原料ガスとしては、テトラエチルシラン（TESi）を採用するのが好ましい。p型導電性に寄与する不純物であるMgの原料ガスとしては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp₂Mg）を採用するのが好ましい。各原料ガスそれぞれのキャリアガスとしては、例えば、H₂ガスを採用するのが好ましい。各原料ガスは、特に限定されず、例えば、Gaの原料ガスとしてトリエチルガリウム（TEGa）、Nの原料ガスとしてヒドラジン誘導体、Siの原料ガスとしてモノシラン（SiH₄）を採用してもよい。積層体20の成長条件は、第1のバッファ層21、第2のバッファ層22、n型AlGaIn層3、障壁層42（第2のAlGaIn層）、井戸層41（第1のAlGaIn層）、電子ブロック層5（第3のp型AlGaIn層）、第1のp型AlGaIn層61及び第2のp型AlGaIn層62それぞれについて、基板温度、V/III比、各原料ガスの供給量、成長圧力等を適宜設定すればよい。「基板温度」とは、ウェハの温度を意味する。エピタキシャル成長装置としてMOVPE装置を採用する場合、「基板温度」は、例えば、ウェハを支持するサセプタ（susceptor）の温度を代用することができる。例えば、基板温度は、熱電対により測定したサセプタの温度を代用することができる。

[0065] 紫外線発光素子10の製造方法では、ウェハの第1面上に積層体20を積層した後、積層体20が積層されているウェハをエピタキシャル成長装置から取り出す。以下では、少なくともウェハと積層体20とを備えた構造体を、エピタキシャルウェハと称する。

[0066] 紫外線発光素子10の製造方法では、エピタキシャル成長装置から取り出したエピタキシャルウェハをアニール装置に導入し、電子ブロック層5、複数の第1のp型AlGaIn層61及び複数の第2のp型AlGaIn層62そ

れぞれの p 型不純物を活性化するためのアニールを行う。アニールを行うためのアニール装置としては、例えば、ランプアニール装置、電気炉アニール装置等を採用することができる。p 型不純物は、アクセプタ不純物を意味し、Mg である。

[0067] 紫外線発光素子 10 の製造方法では、アニール装置からエピタキシャルウェハを取り出した後、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術等を利用してメサ構造 11 を形成する。

[0068] 紫外線発光素子 10 の製造方法では、メサ構造 11 を形成した後、上述の電気絶縁膜を形成する。電気絶縁膜は、CVD (chemical vapor deposition) 法等の薄膜形成技術、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を利用して形成することができる。

[0069] 紫外線発光素子 10 の製造方法では、電気絶縁膜を形成した後、負電極 8 を形成する。負電極 8 を形成するには、まず、エピタキシャルウェハの表面に、負電極 8 の形成予定領域のみが露出するようにパターニングされた第 1 レジスト層を形成する。その後には、例えば、厚さ 20 nm の第 1 の Ti 層、厚さ 50 nm の Al 層、厚さ 20 nm の第 2 の Ti 層及び厚さ 100 nm の Au 層がこの順に積層された第 1 積層膜を蒸着法により形成する。第 1 積層膜を形成した後には、リフトオフを行うことにより、第 1 レジスト層及び第 1 レジスト層上の不要膜（第 1 積層膜のうち第 1 レジスト層上に形成されている部分）を除去することで第 1 積層膜をパターニングする。その後には、アニール処理を行う。アニール処理は、負電極 8 と n 型 AlGaIn 層 3 との接触をオーミック接触とするための処理である。第 1 積層膜の積層構造及び各厚さは、一例であり、特に限定されない。アニール処理は、N₂ガス雰囲気中での RTA (rapid thermal annealing) が好ましい。RTA 処理の条件は、例えば、アニール温度を 700℃、アニール時間を 1 分とすればよいが、これらの値は一例であり、特に限定されない。

[0070] 紫外線発光素子 10 の製造方法では、負電極 8 を形成した後に、正電極 9 を形成する。正電極 9 を形成するためには、まず、エピタキシャルウェハの

表面に、正電極 9 の形成予定領域のみが露出するようにパターニングされた第 2 レジスト層を形成する。その後には、例えば、厚さ 20 nm の Ni 層と厚さ 150 nm の Au 層との第 2 積層膜を電子ビーム蒸着法により形成し、リフトオフを行うことにより、第 2 レジスト層及び第 2 レジスト層上の不要膜（第 2 積層膜のうち第 2 レジスト層上に形成されている部分）を除去する。その後には、正電極 9 と p 型 AlGaIn 層 6 との接触がオーミック接触となるように、N₂ ガス雰囲気中で RTA 処理を行う。第 2 積層膜の積層構造及び各厚さは、一例であり、特に限定されない。また、RTA 処理の条件は、例えば、アニール温度を 500℃、アニール時間を 15 分とすればよいが、これらの値は一例であり、特に限定されない。

[0071] 第 1 パッド電極及び第 2 パッド電極は、例えば、フォトリソグラフィ技術及び薄膜形成技術を利用してリフトオフ法により形成する。

[0072] 紫外線発光素子 10 の製造方法では、紫外線発光素子 10 が複数形成されたエピタキシャルウェハを得ることができる。

[0073] 紫外線発光素子 10 の製造方法では、エピタキシャルウェハをダイシングソー（dicing saw）などによって切断することで、1 枚のエピタキシャルウェハから複数の紫外線発光素子 10 を得ることができる。紫外線発光素子 10 の製造方法では、エピタキシャルウェハを切断する前に、ウェハの厚さを基板 1 の所望の厚さとするようにウェハを第 1 面とは反対の第 2 面側から研磨することが好ましい。これにより、紫外線発光素子 10 の製造方法は、製造歩留りの向上を図ることが可能となる。

[0074] 以下、一実施例の紫外線発光素子 10 について説明する。

[0075] 一実施例の紫外線発光素子 10 における基板 1 は、サファイア基板である。基板 1 の一表面 1a は、(0001) 面である。

[0076] 第 1 のバッファ層 21 は、厚さ 4 μm の AlN 層である。第 2 のバッファ層 22 は、厚さ 50 nm の Al_{0.90}Ga_{0.10}N 層である。

[0077] n 型 AlGaIn 層 3 は、厚さ 2 μm の n 型 Al_{0.60}Ga_{0.40}N 層である。

[0078] 発光層 4 における井戸層 41（第 1 の AlGaIn 層）は、厚さ 2 nm の A

$\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{N}$ 層である。発光層4における障壁層42（第2の AlGaIn 層）は、厚さ10nmの $\text{Al}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{N}$ 層である。発光層4は、井戸層41及び障壁層42それぞれの数が4つである。

[0079] 電子ブロック層5（第3のp型 AlGaIn 層）は、厚さ10nmのp型 $\text{Al}_{0.90}\text{Ga}_{0.10}\text{N}$ 層である。

[0080] p型 AlGaIn 層6における第1のp型 AlGaIn 層61は、厚さ10nm、Mgの濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のp型 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ 層である。p型 AlGaIn 層6における第2のp型 AlGaIn 層62は、厚さ2nm、Mgの濃度 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のp型 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ 層である。p型 AlGaIn 層6は、第1のp型 AlGaIn 層61及び第2のp型 AlGaIn 層62それぞれの数が5つである。

[0081] 一実施例の紫外線発光素子10の製造方法では、MOVPE装置の反応炉内において積層体20をエピタキシャル成長させた。

[0082] 第1のバッファ層21を成長するときの原料ガスとしてはTMAI及び NH_3 を採用し、基板温度を1300℃とした。第2のバッファ層22を成長するときの原料ガスとしてはTMAI、TMGa及び NH_3 を採用し、基板温度を1100℃とした。

[0083] n型 AlGaIn 層3を成長するときの原料ガスとしてはTMAI、TMGa、 NH_3 及びTESiを採用し、基板温度を1100℃とした。

[0084] 発光層4を成長するときの原料ガスとしてはTMAI、TMGa及び NH_3 を採用し、基板温度を1100℃とした。

[0085] 電子ブロック層5を成長するときの原料ガスとしてはTMAI、TMGa、 NH_3 及び Cp_2Mg を採用し、基板温度を1100℃とした。

[0086] p型 AlGaIn 層6を成長するときの原料ガスとしてはTMAI、TMGa、 NH_3 及び Cp_2Mg を採用し、基板温度を1100℃とした。

[0087] 一実施例の紫外線発光素子10では、20mAの直流電流を流したときに、発光ピーク波長が275nm、光出力が4.0mWであった。

[0088] 比較例1の紫外線発光素子では、一実施例の紫外線発光素子10と基本構

成を同様とし、多層構造のp型AlGaIn層6の代わりに、厚さ60nm、Mgの濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のp型AlGaIn層を採用した。比較例1の紫外線発光素子では、20mAの直流電流を流したときに、発光ピーク波長が275nm、光出力が2.5mWであった。

[0089] 比較例2の紫外線発光素子では、一実施例の紫外線発光素子10と基本構成を同様とし、多層構造のp型AlGaIn層6の代わりに、厚さ60nm、Mgの濃度 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のp型AlGaIn層を採用した。比較例2の紫外線発光素子では、20mAの直流電流を流したときに、発光ピーク波長が275nm、光出力が1.35mWであった。

[0090] 以上説明した本実施形態の紫外線発光素子10は、n型AlGaIn層3、発光層4及びp型AlGaIn層6がこの順に並んでいる積層体20と、n型AlGaIn層3の発光層4側の表面3aにおいて発光層4で覆われていない部位3aaに直接設けられている負電極8と、p型AlGaIn層6の表面6a上に直接設けられている正電極9と、を備える。発光層4は、複数の障壁層42と複数の井戸層41とが交互に並んでいる多重量子井戸構造を有する。複数の井戸層41の各々は、第1のAlGaIn層により構成されている。複数の障壁層42の各々は、第1のAlGaIn層よりもAlの組成比が大きい第2のAlGaIn層により構成されている。n型AlGaIn層3は、第1のAlGaIn層（井戸層41）よりもAlの組成比が大きい。p型AlGaIn層6は、複数の第1のp型AlGaIn層61と複数の第2のp型AlGaIn層62とが交互に並んでいる積層構造を有する。複数の第1のp型AlGaIn層61の各々は、第1のAlGaIn層（井戸層41）よりもAlの組成比が大きく、かつMgを含有している。複数の第2のp型AlGaIn層62の各々は、第1のAlGaIn層（井戸層41）よりもAlの組成比が大きく、かつ複数の第1のp型AlGaIn層61の各々よりも高い濃度でMgを含有している。よって、紫外線発光素子10は、光出力の高出力化を図ることが可能になる。

[0091] 紫外線発光素子10では、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々は、

複数の第1のp型AlGaIn層61の各々よりも薄いのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10は、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々のMgの濃度を高くしつつp型AlGaIn層6の結晶性の低下を抑制することが可能となり、光出力の高出力化を図ることが可能となる。

[0092] 紫外線発光素子10では、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々の厚さは、0.5nm以上5nm以下であるのが好ましい。紫外線発光素子10は、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々の厚さが5nm以下であることにより、p型AlGaIn層6の結晶性の低下を抑制することが可能となる。

[0093] 紫外線発光素子10では、p型AlGaIn層6の厚さ方向に沿ったMgの濃度プロファイルでは、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々のMgの濃度の最大値が $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。ここにおいて、Mgの濃度プロファイルは、SIMSによる深さプロファイルの測定結果である。紫外線発光素子10では、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々のMgの濃度の最大値が $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることにより、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々の導電性を向上させることが可能となる。一方、紫外線発光素子10では、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々のMgの濃度の最大値が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々が単結晶でなくなって柱状構造の結晶の集合体となり、結晶性が低下してしまう。本願発明者は、p型AlGaIn層においてMgの濃度を段階的に変化させた評価用のサンプルを作製し、Mgの濃度の最大値が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、柱状構造の結晶の集合体となることを断面TEM像により確認している。これに対して、紫外線発光素子10では、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々のMgの濃度の最大値が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることにより、複数の第1のp型AlGaIn層61の各々の結晶性の低下を抑制することが可能となる。

[0094] 紫外線発光素子10において、p型AlGaIn層6の厚さ方向に沿ったMgの濃度プロファイルでは、複数の第2のp型AlGaIn層62の各々のMg

gの濃度の最大値が $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10は、p型AlGaIn層6の導電性が向上し、光出力の高出力化を図ることが可能となる。

[0095] 紫外線発光素子10では、p型AlGaIn層6において正電極9に接している最表層600は、複数の第2のp型AlGaIn層62のうち発光層4から最も離れた第2のp型AlGaIn層620であるのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10は、p型AlGaIn層6と正電極9とのオーミック接触によるオーミック抵抗をより小さくすることが可能となる。

[0096] 紫外線発光素子10では、発光層4は、UV-Cの紫外波長域又はUV-Bの紫外波長域の紫外線を放射するように構成されているのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10は、例えば、高効率白色照明、殺菌、医療、環境汚染物質を高速で処理する用途等の分野で、利用することができる。紫外線発光素子10は、殺菌の分野で利用する場合、発光層4における井戸層41の発光ピーク波長が $260 \text{ nm} \sim 285 \text{ nm}$ の紫外波長域にあるのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10は、ウイルスや細菌のDNAに吸収されやすい $260 \text{ nm} \sim 285 \text{ nm}$ 帯の紫外線を放射させることができ、効率良く殺菌することが可能となる。

[0097] 紫外線発光素子10は、積層体20を支持する基板1を備えるのが好ましい。積層体20は、基板1の一表面1a上に設けられている。n型AlGaIn層3、発光層4及びp型AlGaIn層6は、基板1の一表面1aからこの順に並んでいるのが好ましい。これにより、紫外線発光素子10では、積層体20の反りを抑制することが可能となる。基板1は、単結晶基板であり、サファイア基板であるのが好ましい。単結晶基板は、サファイア基板に限らず、例えば、SiC基板、AlN基板等でもよい。これにより、紫外線発光素子10は、発光層4から放射された紫外線を基板1の第2面1bから出射させることが可能となる。

[0098] 紫外線発光素子10は、紫外線を放射するLEDチップに限らず、例えば、紫外線を放射するLDチップ (laser diode chip) でもよい。

[0099] 上述の実施形態に記載した材料、数値等は、好ましい例を示しているだけであり、本発明をそれに限定するものではない。また、本発明の構成は、本発明の技術的思想の範囲を逸脱しない範囲で、適宜変更を加えることが可能である。

符号の説明

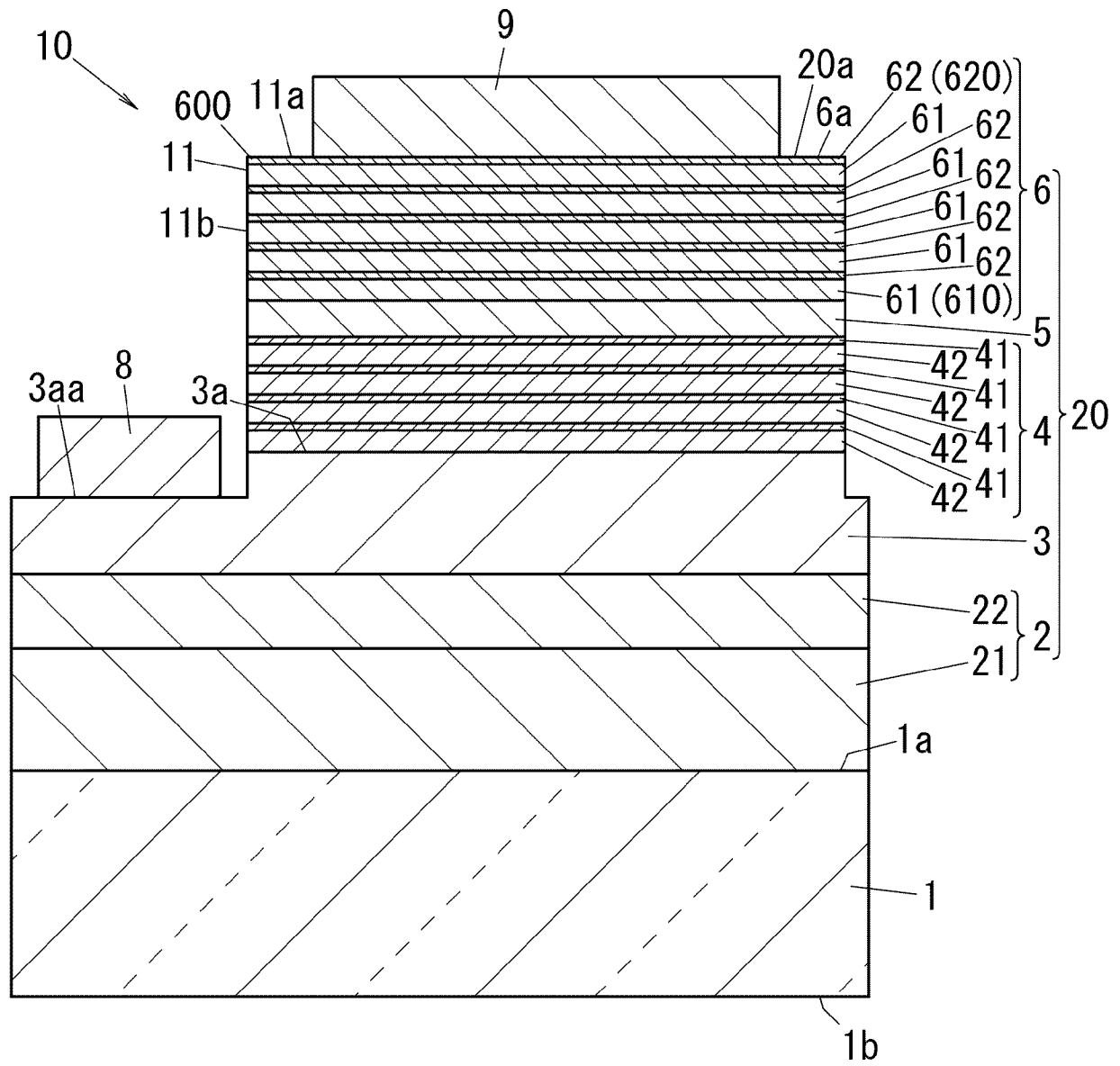
- [0100] 1 基板
- 1 a 一表面
- 3 n型AlGaIn層
- 3 a 表面
- 3 a a 部位
- 4 発光層
- 4 1 井戸層
- 4 2 障壁層
- 6 p型AlGaIn層
- 6 a 表面
- 6 1 第1のp型AlGaIn層
- 6 2 第2のp型AlGaIn層
- 6 0 0 最表層
- 6 2 0 発光層から最も離れた第2のp型AlGaIn層
- 8 負電極
- 9 正電極
- 1 0 紫外線発光素子
- 2 0 積層体

請求の範囲

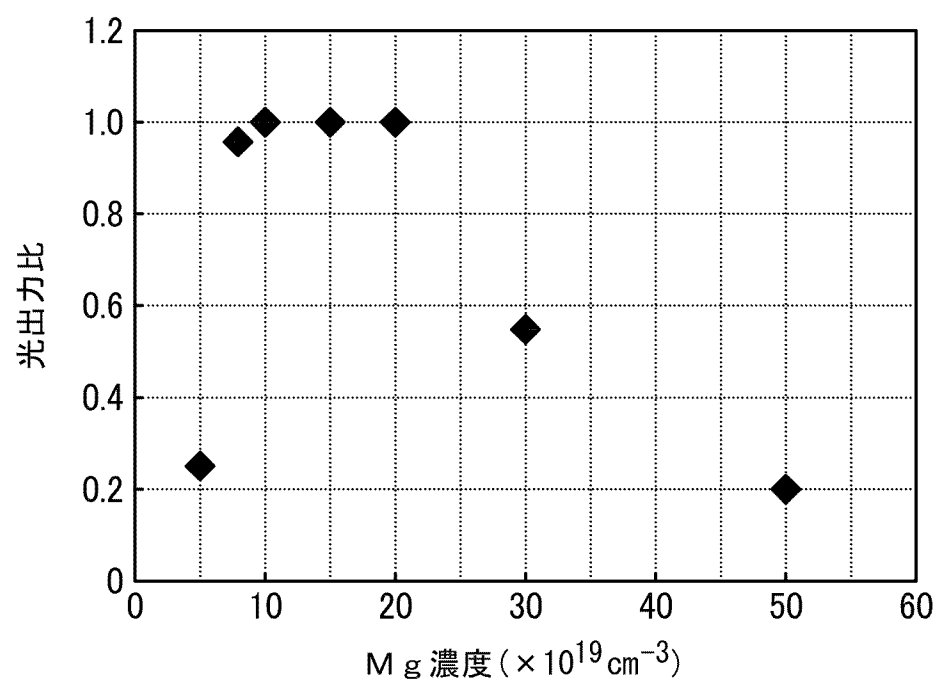
- [請求項1] n型A l G a N層、発光層及びp型A l G a N層がこの順に並んでいる積層体と、
- 前記n型A l G a N層の前記発光層側の表面において前記発光層で覆われていない部位に直接設けられている負電極と、
- 前記p型A l G a N層の表面上に直接設けられている正電極と、
- を備え、
- 前記発光層は、複数の障壁層と複数の井戸層とが交互に並んでいる多重量子井戸構造を有し、
- 前記複数の井戸層の各々は、第1のA l G a N層により構成され、
- 前記複数の障壁層の各々は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きな第2のA l G a N層により構成され、
- 前記n型A l G a N層は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きく、
- 前記p型A l G a N層は、複数の第1のp型A l G a N層と複数の第2のp型A l G a N層とが交互に並んでいる積層構造を有し、
- 前記複数の第1のp型A l G a N層の各々は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きく、かつMgを含有しており、
- 前記複数の第2のp型A l G a N層の各々は、前記第1のA l G a N層よりもA lの組成比が大きく、かつ前記複数の第1のp型A l G a N層の各々よりも高い濃度でMgを含有している、
- ことを特徴とする紫外線発光素子。
- [請求項2] 前記複数の第2のp型A l G a N層の各々は、前記複数の第1のp型A l G a N層の各々よりも薄い、
- ことを特徴とする請求項1記載の紫外線発光素子。
- [請求項3] 前記複数の第2のp型A l G a N層の各々の厚さは、0.5nm以上5nm以下である、
- ことを特徴とする請求項1又は2記載の紫外線発光素子。

- [請求項4] 前記 p 型 A l G a N 層の厚さ方向に沿った M g の濃度プロファイルでは、前記複数の第 1 の p 型 A l G a N 層の各々の M g の濃度の最大値が $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の紫外線発光素子。
- [請求項5] 前記 p 型 A l G a N 層の厚さ方向に沿った M g の濃度プロファイルでは、前記複数の第 2 の p 型 A l G a N 層の各々の M g の濃度の最大値が $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の紫外線発光素子。
- [請求項6] 前記 p 型 A l G a N 層において前記正電極に接している最表層は、前記複数の第 2 の p 型 A l G a N 層のうち前記発光層から最も離れた第 2 の p 型 A l G a N 層である、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の紫外線発光素子。
- [請求項7] 前記発光層は、U V - C の紫外波長域又は U V - B の紫外波長域の紫外線を放射するように構成されている、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の紫外線発光素子。
- [請求項8] 前記積層体を支持する基板を備え、
前記積層体は、前記基板の一表面上に設けられ、
前記 n 型 A l G a N 層、前記発光層及び前記 p 型 A l G a N 層は、前記一表面からこの順に並んでいる、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の紫外線発光素子。

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/004924

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)

H01L33/06, H01L33/32

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2012-248765 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 13 December 2012 (13.12.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	WO 2015/151471 A1 (Panasonic Corp.), 08 October 2015 (08.10.2015), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	WO 2005/106979 A1 (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 10 November 2005 (10.11.2005), entire text; all drawings & JP 5082444 B2	1-8

☒ 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
11 January 2017 (11.01.17)

Date of mailing of the international search report
24 January 2017 (24.01.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/004924

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-214337 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 29 July 2004 (29.07.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2013-21173 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 31 January 2013 (31.01.2013), entire text; all drawings & US 2013/0017639 A1	1-8
A	JP 2015-65245 A (Toshiba Corp.), 09 April 2015 (09.04.2015), entire text; all drawings & US 2015/0084069 A1	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

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（IPC））

Int.Cl. H01L33/06, H01L33/32

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 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 請求項の番号
A	JP 2012-248765 A（昭和電工株式会社）2012.12.13, 全文全図 （ファミリーなし）	1-8
A	WO 2015/151471 A1（パナソニック株式会社）2015.10.08, 全文全図 （ファミリーなし）	1-8

☒ 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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.01.2017

国際調査報告の発送日

24.01.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

小濱 健太

2 K

4009

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 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 請求項の番号
A	WO 2005/106979 A1 (三菱電線工業株式会社) 2005. 11. 10, 全文全図 & JP 5082444 B2	1-8
A	JP 2004-214337 A (日亜化学工業株式会社) 2004. 07. 29, 全文全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2013-21173 A (豊田合成株式会社) 2013. 01. 31, 全文全図 & US 2013/0017639 A1	1-8
A	JP 2015-65245 A (株式会社東芝) 2015. 04. 09, 全文全図 & US 2015/0084069 A1	1-8