

(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
2016年8月11日(11.08.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/125833 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/14 (2010.01) H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/053257
- (22) 国際出願日: 2016年2月3日(03.02.2016)
- (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 2015-021875 2015年2月6日(06.02.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社トクヤマ(TOKUYAMA CORPORATION) [JP/JP]; 〒7458648 山口県周南市御影町1番1号 Yamaguchi (JP).
- (72) 発明者: 小幡 俊之(OBATA, Toshiyuki); 〒7458648 山口県周南市御影町1番1号 株式会社トクヤマ内 Yamaguchi (JP).
- (74) 代理人: 田坂 一郎, 外(TASAKA, Kazuaki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目3番1号 新東京ビル225区 Tokyo (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, 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), ユーロピア (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).

規則 4.17 に規定する申立て:

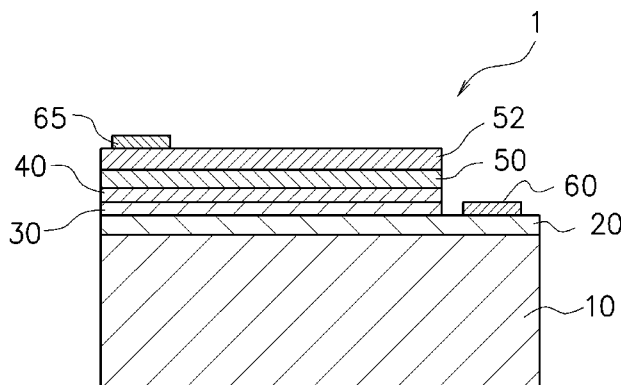
- 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LIGHT-EMITTING ELEMENT AND PRODUCTION METHOD FOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 発光素子、及び発光素子の製造方法



(57) Abstract: Provided are a light-emitting element and a production method for the light-emitting element, whereby external quantum efficiency and optical output can be increased as a result of controlling dopand concentration in the vicinity of the interface between a light-emitting layer area and a carrier block layer. A light-emitting element 1 for a nitride semiconductor comprises: a first conduction-type first semiconductor layer 20; a second semiconductor layer 50 of a second conduction type that is different from the first conduction type; a carrier block layer 40 of the second conduction type, provided on the first semiconductor layer 20 side of the second semiconductor layer 50; and a light-emitting layer area 30 having a light-emitting layer and being between the first semiconductor layer 20 and the carrier block layer 40. The maximum second conduction type impurity concentration in a predetermined area from the interface with the light-emitting layer area 30 inside the carrier block layer 40 is higher than $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/125833 A1



発光層領域とキャリアブロック層との界面近傍におけるドーパント濃度を制御することで外部量子効率を向上させて光出力を向上させることができる発光素子、及び発光素子の製造方法を提供する。窒化物系半導体の発光素子1は、第1導電型の第1半導体層20と、第1導電型とは異なる第2導電型の第2半導体層50と、第2半導体層50の第1半導体層20側に設けられる第2導電型のキャリアブロック層40と、第1半導体層20とキャリアブロック層40との間に、発光層を有する発光層領域30とを備え、キャリアブロック層40内における発光層領域30との界面から予め定められた領域における第2導電型の不純物濃度の最大値が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高い。

明 細 書

発明の名称：発光素子、及び発光素子の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、発光素子、及び発光素子の製造方法に関する。特に、本発明は、窒化物系化合物半導体の発光素子、及び発光素子の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 現状、発光波長350nm以下の深紫外光源としては、重水素や水銀などのガス光源が使用されている。これらのガス光源には、短寿命であること、及び大型であること等の不都合がある。また水銀は条約による規制を受けつつある物質である。そのため、これらの不都合を解消でき、取扱が容易である、半導体を用いた深紫外発光素子の実現が待たれている。

[0003] しかしながら、半導体を用いた発光素子には、重水素ガスランプあるいは水銀ガスランプ等のガス光源と比較して光出力が弱く、また発光効率も低いという問題がある。半導体発光素子において光出力が不十分である原因としては、窒化物半導体発光素子においては正孔と比較して電子の有効質量が小さく、かつキャリア濃度が高いため、電子が活性層（領域）を乗り越え、p型層へオーバーフローを起こすことにより、発光効率の低下を招くことが挙げられる。

[0004] 窒化物半導体発光素子におけるp型層への電子のオーバーフローの問題は、発光波長350nm以下の深紫外発光素子だけに生じている問題ではない。例えば、特許文献1には、発光波長が350nmを越える半導体発光素子において、活性層とp型層との間に、活性層のバンドギャップよりも大きなバンドギャップを有するキャリアブロック層を形成することにより、活性層領域からp型層への電子の流出を防ぎ、発光効率を高める技術が記載されている。また非特許文献1には、深紫外発光素子においても、上記のようなキャリアブロック層の適用を試みたことが記載されている。非特許文献1によれば、活性層とp型層の間にアンドープの薄いAlN層を挟むことにより発

光効率が高まることを示している。

- [0005] また、InGa_nN/GaN多重量子井戸の障壁層にMgをドーピングした発光ダイオードの特性について報告されている（例えば、非特許文献2参照）。非特許文献2に記載の技術によれば、障壁層にMgをドーピングしていない発光ダイオードよりも、Mgをドーピングした発光ダイオードの方が、光出力を向上させることができる。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2007-88269号公報

- [0007] 非特許文献1：Y.H. Zhu, S. Sumiya, J.C. Zhang, M. Miyoshi, T. Shibata, K. Kosaka, M. Tanaka and T. Egawa, "Improved performance of 264 nm emission AlGa_nN-based deep ultraviolet light-emitting diodes", ELECTRONICS LETTERS 44, 493 (2008)

非特許文献2：Sang-Heon Han, Chu-Young Cho, Sang-Jun Lee, Tae-Young Park, Tae-Hun Kim, Seung Hyun Park, Sang Won Kang, Je Won Kim, Yong Chun Kim, and Seong-Ju Park, "Effect of Mg doping in the barrier or InGa_nN/GaN multiple quantum well on optical power of light-emitting diodes", APPLIED PHYSICS LETTERS 96, 051113 (2010)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] しかし、発光効率はまだ不十分であり、更なる発光効率の向上が求められている。特許文献1及び非特許文献1に記載の技術においては、キャリアブロック層の導入により発光効率の増加ができる事が記載されているものの、キャリアブロック層自体あるいはキャリアブロック層と他の半導体層との界面におけるドーピング濃度には着目していない。また、非特許文献2に記載の技術は、障壁層にMgをドーピングすることに着目しているが、この技術も発光層領域と他の半導体層との界面におけるドーピング濃度には着目して

いない。

[0009] したがって、本発明の目的は、発光層領域とキャリアブロック層との界面近傍におけるドーパント濃度を制御することで発光効率を向上させることができる発光素子、及び発光素子の製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明は、上記目的を達成するため、第1導電型の第1半導体層と、第1導電型とは異なる第2導電型の第2半導体層と、第2半導体層の第1半導体層側に設けられる第2導電型のキャリアブロック層と、第1半導体層とキャリアブロック層との間に、発光層を有する発光層領域とを備え、キャリアブロック層内における、発光層領域との界面から予め定められた領域における第2導電型の不純物濃度の最大値が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高い窒化物系半導体発光素子が提供される。

[0011] また、上記窒化物系半導体発光素子において、予め定められた領域が、界面から第2半導体層側に向けて10nmまでの領域であることが好ましい。

[0012] また、上記窒化物系半導体発光素子において、第1半導体層が、半導体基板の上に設けられ、第1半導体層、第2半導体層、発光層領域、及びキャリアブロック層が、AlGaIn系半導体を含んで構成されてもよい。

[0013] また、上記窒化物系半導体発光素子において、半導体基板が、AlN基板であり、第1半導体層が、AlN基板のC面上に設けられてもよい。

[0014] また、上記窒化物系半導体発光素子において、第2導電型の不純物が、Mg、Zn、Ca、C、又はBeであってもよい。

[0015] また、本発明は、上記目的を達成するため、半導体基板の上に第1導電型の第1半導体層を形成する第1半導体層形成工程と、第1半導体層の上に、発光層を含む発光層領域を形成する発光層領域形成工程と、発光層領域の上にキャリアブロック層を形成するキャリアブロック層形成工程と、キャリアブロック層の上に、第1導電型とは異なる第2導電型の第2半導体層を形成する第2半導体層形成工程とを備え、キャリアブロック層形成工程が、キャリアブロック層内における、発光層領域との界面から予め定められた領域に

おける第2導電型の不純物濃度の最大値を、所定の濃度（ $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）より高い濃度にする不純物導入工程を有する窒化物系半導体発光素子の製造方法が提供される。

発明の効果

[0016] 本発明に係る発光素子、及び発光素子の製造方法によれば、発光層領域とキャリアブロック層との界面近傍におけるドーパント濃度を制御することで発光効率を向上させることができる発光素子、及び発光素子の製造方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本実施の形態に係る発光素子の断面の概要図である。

[図2]本実施の形態に係る発光層領域近傍の断面図である。

[図3]本実施の形態に係る発光素子を構成する半導体層のエネルギーバンド図の一部の概要図である。

発明を実施するための形態

[0018] [実施の形態]

図1は、本発明の実施の形態に係る発光素子の断面の概要の一例を示す。また、図2は、本発明の実施の形態に係る発光層領域近傍の断面の概要の一例を示す。なお、本実施の形態において説明する図はあくまでも概要図であり、各図に示す各半導体層の厚さ、及びサイズ等は、実際の厚さ及びサイズ等を反映しているとは限らない。

[0019] (発光素子1の構造の概要)

本実施の形態に係る発光素子1は、例えば、主としてGaN系、若しくはAlGaIn系のIII-V族化合物半導体を用いて構成され、深紫外領域の光を放射する発光素子としての発光ダイオード(Light Emitting Diode: LED)あるいはレーザダイオード等である。発光素子1は、一例として、平面視にて矩形状を有する。発光素子1は、基板10と、基板10の上に設けられる第1導電型の第1半導体層20と、第1半導体層20の上に設けられる発光層領域30と、発光層領域30の上に設けられ

るキャリアブロック層40と、キャリアブロック層40の上に設けられ、第1導電型とは異なる第2導電型の第2半導体層50と、第2半導体層50の上に設けられる第3半導体層52とを備える。

[0020] なお、本実施の形態において「一の半導体層の上に他の半導体層が設けられる」と記載する場合、一の半導体層の直上に他の半導体層が設けられる形態と、一の半導体層と他の半導体層との間に更に他の半導体層が設けられる形態（つまり、一の半導体層の上方に他の半導体層が設けられる形態）とを含むものとする。

[0021] また、発光素子1は、第1半導体層20の基板10側の反対側の一部の領域に設けられる第1電極60と、第3半導体層52の第2半導体層50側の反対側の面の一部の領域に設けられる第2電極65とを備える。

[0022] ここで、第1半導体層20は第1導電型の不純物としてのドーパントを含み、第2半導体層50及び第3半導体層52はそれぞれ、第1導電型とは異なる第2導電型のドーパントを含んで構成される。そして、本実施の形態において、キャリアブロック層40は、第2導電型のドーパントを含んで構成される。また、発光層領域30は、一例として、交互に積層された井戸層と障壁層とを含む量子井戸層32を有して構成される。

[0023] また、発光層領域30は、キャリアブロック層40と量子井戸層32との間に設けられるスペーサー層306を有する。スペーサー層306は、量子井戸層32とスペーサー層306との界面近傍における第2導電型の不純物濃度を予め定められた濃度以下に調整する。例えば、スペーサー層306は、量子井戸層32のキャリアブロック層40側の井戸層、若しくは障壁層と接して設けられ、キャリアブロック層40からの不純物をキャリアブロック層40に最も近い位置の井戸層、若しくは障壁層とスペーサー層306との界面近傍若しくは界面に実質的に到達させない機能及び構成を有する。

[0024] 更に、スペーサー層306及びキャリアブロック層40は、キャリアブロック層40内における発光層領域との界面（すなわち、スペーサー層306とキャリアブロック層40との界面）からキャリアブロック層40の厚さ方

向に沿って予め定められた距離の範囲内（以下、「予め定められた領域」という場合がある。）における第2導電型の不純物濃度の最大値が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高くなる構成を有して形成される。予め定められた領域における第2導電型の不純物濃度の最大値が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高いとは、予め定められた領域において第2導電型の不純物濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高い個所が少なくとも一か所あれば良いということであり、予め定められた領域における第2導電型の不純物の濃度プロファイルが一定である必要はない。

[0025] 本発明者は、発光素子を構成する各半導体層中におけるドーパントの挙動、ドーパントの各半導体層に対する影響、及び外部量子効率に与えるドーパント濃度の影響等、並びに各半導体層の製造方法等を検討する過程において、キャリアブロック層40内における予め定められた領域における不純物濃度を所定の濃度以上に設定することで発光素子の発光効率（すなわち、外部量子効率）が向上することを見出した。

[0026] （発光素子1の構造の詳細）

一例として、第1導電型がn型であり、第2導電型がp型である例を説明する。

[0027] （基板10）

基板10は、予め定められた厚さ及び面方位を有する半導体基板、若しくはサファイア等の単結晶基板である。例えば、基板10として半導体基板を用いる場合、炭化ケイ素（SiC）基板、窒化ガリウム（GaN）基板、又は高熱伝導性を有する窒化アルミニウム（AlN）基板等を用いることができる。本実施の形態では、格子整合する基板を用いることで転位等の結晶欠陥の発生を防ぎ、高品質な半導体層を積層する事を目的として、一例として、C面のAlN基板を基板10として用いる。なお、基板10にサファイア等の第1半導体層20の格子定数とは大きく異なる格子定数を有する材料を用いる場合、基板10と第1半導体層20との間にバッファ層を設けることもできる。

[0028] （各半導体層）

第1半導体層20、スペーサー層306を含む発光層領域30、キャリアブロック層40、第2半導体層50、及び第3半導体層52はそれぞれ、主として窒化物系化合物半導体を用いて構成される。これらの半導体層は、例えば、 $Al_xGa_{1-x}N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ）で表される化合物半導体から構成される。ここで、キャリアブロック層40は、第1半導体層20側から伝搬してくるキャリア（例えば、電子）が第2半導体層50側に伝搬することを抑制する半導体層である。

[0029] 具体的に、第1半導体層20は、n型ドーパントを含む $AlGa$ N系化合物半導体から形成される。また、キャリアブロック層40、第2半導体層50、及び第3半導体層52は、p型ドーパントを含む $AlGa$ N系化合物半導体から形成される。

[0030] より具体的に、第1半導体層20は、Si、Se等のn型ドーパントを所定の濃度含む $Al_xGa_{1-x}N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ）から形成される。一例として、第1半導体層20は、n型ドーパントを含む $Al_{0.75}Ga_{0.25}N$ 層から形成される。第1半導体層20に含まれるn型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

[0031] キャリアブロック層40は、Mg、Zn、Ca、C、又はBe等のp型ドーパントを所定の濃度含む $Al_xGa_{1-x}N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ）から形成されるが、アンドープ層であっても良い。本実施の形態においてキャリアブロック層40は、第1半導体層20側から伝搬してくるキャリアの第2半導体層50側への伝搬を抑制する機能を有するので、他の半導体層よりバンドギャップの大きい材料を用いて形成することが好ましい。一例として、キャリアブロック層40は、p型ドーパントを含むAlNから形成される。キャリアブロック層40に含まれるp型ドーパント濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。このとき、ドーパント濃度は不均一でも、一部アンドープ領域があっても良い。

[0032] また、第2半導体層50及び第3半導体層52は、p型ドーパントを所定の濃度含む $Al_xGa_{1-x}N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ）から形成される。ここで

、第2半導体層50はクラッド層としての機能を有し、第3半導体層52はコンタクト層としての機能を有する。一例として、第2半導体層50は、p型ドーパントを含む $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$ から形成され、第3半導体層52は、p型ドーパントを含む GaN から形成される。第2半導体層50に含まれるp型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、第3半導体52に含まれるp型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

[0033] 発光層領域30は、外部から電流が供給されると所定の範囲の波長の光を発する。具体的に、発光層領域30は、深紫外領域を含む波長の光（例えば、発光ピーク波長で200nm以上350nm以下の光）を発する構成を有する。ここで発光層領域30は、第1半導体層20とキャリアブロック層40との間、具体的には第1半導体層20とスペーサー層306との間に、障壁層（例えば、障壁層300）と井戸層（例えば、井戸層302、井戸層304）とが交互に積層される発光層としての量子井戸層32を有して形成される。一例として、量子井戸層32は、n型ドーパントを含む障壁層としての $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ 層と、アンドープの井戸層としての $\text{Al}_{0.50}\text{Ga}_{0.50}\text{N}$ 層とのペアを含む。そして、キャリアブロック層40と量子井戸層32との間に、一例として、アンドープの $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ からなるスペーサー層306（若しくは、アンドープ障壁層）が形成される。

[0034] なお、発光層領域30は、障壁層と井戸層とのペアを複数含む多重量子井戸構造（すなわち、障壁層と井戸層とが交互に複数積層される構造）を有することもできる。また、障壁層に含まれるn型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。ここで障壁層はn型ドーパントを含くんでも含まなくても良い。本実施の形態において「アンドープ」の半導体層とは、製造過程においてドーパントを積極的に添加せずに形成される半導体層であって、不可避的不純物を含むことを排除するものではない。

[0035] スペーサー層306は、キャリアブロック層40から井戸層304に向け

て拡散するドーパントの大部分を、スペーサー層 306 内にとどめる機能を有する。

[0036] 量子井戸層 32 を形成した後、スペーサー層 306 を形成する間はスペーサー層 306 に不純物を導入せず、スペーサー層 306 の形成直後、キャリアブロック層 40 の形成を開始する段階から（すなわち、スペーサー層 306 とキャリアブロック層 40 との界面から）不純物を導入する。更に、キャリアブロック層 40 内における発光層領域 30 との界面から予め定められた領域における第 2 導電型の不純物濃度の最大値が、発光層領域 30 における不純物濃度より高く、所定の濃度以上（ $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 超）になるように不純物を導入する。

[0037] これにより、キャリアブロック層 40 内における発光層領域 30 との界面から予め定められた領域における第 2 導電型の不純物濃度の最大値が発光層領域 30 における第 2 導電型の不純物濃度より高く、スペーサー層 306 は、キャリアブロック層 40 と同程度の厚さ、若しくはキャリアブロック層 40 より厚く形成される共に、発光層領域 30 が有する井戸層及び障壁層より厚く形成されることが好ましいが、キャリアブロック層より薄くとも良い。

[0038] （第 1 電極 60、第 2 電極 65）

第 1 電極 60 は、第 1 半導体層 20 にオーミック接合する材料から形成される。同様に、第 2 電極 65 は、第 3 半導体層 52 にオーミック接合する材料から形成される。また、第 1 電極 60 及び第 2 電極 65 はそれぞれ、単一材料から構成される電極層、又は一部が異なる材料から構成される複数の電極層の組合せを含んで構成される。

[0039] 例えば、第 1 電極 60 は、第 1 半導体層 20 が n 型半導体である場合、第 1 半導体層 20 側から所定の厚さを有する Ti 層、Al 層、及び Au 層をこの順で形成することで構成される。また、第 2 電極 65 は、第 3 半導体層 52 が p 型半導体である場合、第 3 半導体層 52 側から所定の厚さを有する Ni 層、及び Au 層をこの順で形成することで構成される。なお、第 1 電極 60 及び第 2 電極 65 を構成する材料はこれらに限られず、第 1 半導体層 20

及び第3半導体層52にオーミック接合する材料であれば、他の金属材料、導電性酸化物材料、及び／又は導電性高分子材料等を用いることもできる。

[0040] 図3は、本実施の形態に係る発光素子を構成する半導体層のエネルギーバンド図の一部の概要を示す。

[0041] 図3においては、発光素子1を形成する半導体層の一部の概念的なバンド図100の概要を示す。図3は、左側から第2半導体層50の一部、キャリアブロック層40、スペーサー層306、及び井戸層304の順で各半導体層が設けられている様子を示す。本実施の形態においては、キャリアブロック層40内における、予め定められた領域におけるp型ドーパントの濃度の最大値が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高く制御される。

[0042] 本実施の形態において予め定められた領域は、キャリアブロック層40から第2半導体層50側に向けてキャリアブロック層40の厚さ方向に沿って10nmまでの領域であることが好ましい。すなわち、予め定められた領域は、スペーサー層306とキャリアブロック層40との界面から、キャリアブロック層40の側に向けて10nmの厚さ（図3のdで表した厚さ）までの領域である。そして、キャリアブロック層40内における予め定められた領域におけるp型ドーパントの不純物濃度の最大値は、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高い。なお、スペーサー層306の厚さ方向において、キャリアブロック層40側からキャリアブロック層40に最も近い井戸層304側に向かうにつれて不純物濃度は徐々に減少する。

[0043] このような濃度プロファイルは、各半導体層を形成する過程で、所定の成長温度の昇降プロファイルで到達した所定の成長温度下において、キャリアブロック層40の形成開始時点から、所定のドーパントを所定のドーピング速度で各半導体層にドーピングしつつ、所定の厚さを有する半導体層の成長を実行することで実現できる。

[0044] （発光素子1の製造方法）

以下、本実施の形態に係る発光素子1の製造方法の一例を説明する。

[0045] まず、基板10の上に、例えば、有機金属気相成長法（Metal Or

ganic Chemical Vapor Deposition: MOCVD法) を用いて所定の成長温度、所定の成長時間で複数の化合物半導体層を含むAlGa_xN系の半導体積層構造を形成する。具体的には、まず、基板10の上に、n型ドーパントがドーピングされたAl_xGa_{1-x}N(ただし、0 ≤ x ≤ 1。以下同じ。)を有する第1半導体層20を形成する(第1半導体層形成工程)。次に、第1半導体層20の上に発光層領域30を形成する(発光層領域形成工程)。なお、第1半導体層形成工程は、第1半導体層20を形成する前に、バッファ層等他の半導体層を基板10上に形成することもできる。

[0046] 具体的に、発光層領域形成工程は、第1半導体層20の上にn型ドーパントがドーピングされたAl_xGa_{1-x}Nを含む障壁層、及びアンドープのAl_xGa_{1-x}Nを含む井戸層を所定のペア数有する量子井戸層32を形成した後、アンドープのAl_xGa_{1-x}Nを含むスペーサー層306を量子井戸層32の上に形成する。

[0047] 次に、発光層領域30の上にp型ドーパントがドーピングされたAl_xGa_{1-x}Nを有するキャリアブロック層40を形成する(キャリアブロック層形成工程)。ここで、本実施の形態では、キャリアブロック層形成工程は、不純物導入工程を有する。不純物導入工程は、キャリアブロック層40内における発光層領域30とキャリアブロック層40との界面から予め定められた領域における第2導電型の不純物濃度の最大値が、5 × 10¹⁹ cm⁻³より高い濃度にする工程である。また、ドーパントの導入開始のタイミングは、発光層領域形成工程の終了後、キャリアブロック層形成工程の開始時からに設定することが好ましい。

[0048] 続いて、キャリアブロック層40の上に、p型ドーパントがドーピングされたAl_xGa_{1-x}Nを有する第2半導体層50を形成する(第2半導体層形成工程)。更に続いて、第2半導体層50の上に、p型ドーパントがドーピングされたAl_xGa_{1-x}Nを有する第3半導体層52を形成する(第3半導体層形成工程)。これにより、基板10の上に半導体積層構造が形成されたエピタキ

シャルウエハが形成される。

- [0049] なお、MOCVD法において用いる原料は、トリメチルガリウム (TMGa)、トリエチルガリウム (TEGa)、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリエチルアルミニウム (TEAI) 等の有機金属化合物、及びアンモニア (NH₃) を用いることができる。更に、n型のドーパントの原料は、トリエチルシラン (TESi) 等を用いることができる。そして、p型のドーパントの原料は、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) 等を用いることができる。
- [0050] また、n型のドーパントの原料として、セレン化水素 (H₂Se)、ジシラン (Si₂H₆)、モノシラン (SiH₄)、ジエチルテルル (DETe)、又はジメチルテルル (DMTe) を用いることもできる。そして、p型のドーパントとしてZnを用いる場合、その原料として、ジメチルジンク (DMZn) 又はジエチルジンク (DEZn) を用いることもできる。キャリアガスとしては水素、又は窒素等を用いることができる。
- [0051] また、基板10の上の半導体積層構造は、分子線エピタキシー法 (Molecular Beam Epitaxy: MBE) 等の他の半導体層形成方法を用いて形成することもできる。
- [0052] 次に、エピタキシャルウエハをMOCVD装置から搬出した後、基板10の上に形成された半導体積層構造に、所定の雰囲気下、所定の温度で所定時間、熱処理を施す。続いて、フォトリソグラフィ法を用い、半導体積層構造の第3半導体層52の表面の一部を露出させる開口部を有するフォトレジストパターンを形成する。そして、開口部に対しエッチング処理を施す。エッチング処理は、湿式エッチング、及び／又は乾式エッチング（例えば、反応性イオンエッチング）を用いて実行できる。そして、開口部に対応する第3半導体層52の表面から第1半導体層20の表面が露出するまでエッチング処理を実行することで、エッチング処理済み半導体積層構造が形成される。
- [0053] 続いて、フォトリソグラフィ法を用い、外部に露出した第1半導体層2

0の表面の所定の領域に所定形状の開口を有するフォトレジストパターンを形成する。そして、この開口に、真空蒸着法（例えば、抵抗加熱法、電子ビーム蒸着法、又はスパッタ法等）を用い、第1電極60を形成する。第1電極60の形成に用いたフォトレジストパターンを除去、洗浄後、第1電極60が形成されたエッチング処理済み半導体積層構造に、不活性雰囲気下若しくは活性雰囲気下、所定の温度で所定時間、アニール処理を施すことで、第1電極60を有する半導体積層構造が形成される。

[0054] 次に、フォトリソグラフィ法を用い、第1電極60を有する半導体積層構造の第3半導体層52の表面の所定の領域に所定形状の開口を有するフォトレジストパターンを形成する。そして、第1電極60の形成と同様に真空蒸着法を用いて第2電極65を形成する。第2電極65の形成に用いたフォトレジストパターンを除去、洗浄後、第2電極65が形成された半導体積層構造に、活性雰囲気下若しくは不活性雰囲気下、所定の温度で所定時間、アニール処理を施すことで、発光素子構造を有するウエハが形成される。

[0055] そして、ダイシング装置等のウエハを切断する装置を用い、得られたウエハを所定寸法の矩形状に切り出すことで、本実施の形態に係る発光素子1が製造される。

[0056] なお、発光素子1が備える各半導体層は、各半導体層を構成する化合物半導体層の導電型を、本実施の形態の反対にすることもできる。例えば、第1導電型をp型にすると共に、第2導電型をn型にすることもできる。

[0057] 本実施の形態においては深紫外光に相当する波長の光を発する発光素子1について説明したが、発光層領域30を構成する化合物半導体の組成、及び／又は量子井戸構造等を制御することで、紫外光、青色光、緑色光等の深紫外光とは異なる光に相当する波長の光を発する発光素子を形成することもできる。そして、発光層領域30は、アンドープ若しくは所定のドーパントがドーピングされた活性層、単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造から形成することもできる。

[0058] また、発光素子1の平面形状は上記の実施形態に限られない。例えば、発

光素子1の平面寸法を、縦寸法の方が横寸法より短くなるように設計すると、発光素子1の平面視における形状は、略長方形となる。

[0059] また、本実施の形態では発光ダイオード構造を例に挙げて説明したが、本実施の形態に係る半導体積層構造を有した半導体レーザを形成することもできる。

[0060] (実施の形態の効果)

本実施の形態に係る発光素子1は、キャリアブロック層40内における、とりわけ発光層領域30とキャリアブロック層40との界面から予め定められた領域における第2導電型の不純物濃度の最大値を $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高くすることで、発光素子1の外部量子効率を向上させる事ができる。

実施例

[0061] 実施例1においては、本発明の実施の形態に係る製造工程で製造した発光素子1と同様に図1に示した構造を備えると共に、以下の構造を有する発光素子を製造した。

[0062] まず、基板10として、一辺7mm角であり、 $500 \mu\text{m}$ の厚さを有するC面のAlN基板を準備した。そして、このAlN基板をMOCVD装置にセットした。次に、MOCVD法により、AlN基板の上に第1半導体層20として、 $1.0 \mu\text{m}$ の厚さを有し、Siがドーパされた $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ 層を形成した(ただし、Si濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。)。そして、第1半導体層20の上に、発光層領域30として障壁層と井戸層とを有する量子井戸層、及びスペーサー層306を形成した。

[0063] 障壁層としては、7nmの厚さを有し、Siがドーパされた $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ を形成すると共に、井戸層としては、2nmの厚さを有し、アンドープの $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 層を形成した(ただし、障壁層のSi濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。)。また、量子井戸層は、3層の井戸層と、3層の障壁層とを含む構成とした。すなわち、第1半導体層20の側から障壁層と井戸層とからなるペアを3組形成した。なお、各障壁層は、組成、厚みとも同一にした。同様に、各井戸層も、組成、厚みとも同一にした。更に、量子井戸層

32の上にスペーサー層306を形成した。スペーサー層306としては、20nmの厚さを有し、アンドープの $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ 層を形成した。

[0064] 次に、スペーサー層306の上にキャリアブロック層40として、15nmの厚さを有し、MgがドーピングされたAlN層を形成した（ただし、Mg濃度は $5.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ であり、AlNのバンドギャップは6.00eVである。）。Mgのドーピングは、キャリアブロック層40の成長開始時点から開始した。そして、キャリアブロック層40上に第2半導体層50として、35nmの厚さを有し、Mgがドーピングされた $\text{Al}_{0.80}\text{Ga}_{0.20}\text{N}$ 層を形成した（ただし、Mg濃度は $5.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。）。この第2半導体層50はp型クラッド層として機能する半導体層である。更に、第2半導体層50の上に第3半導体層52として、30nmの厚さを有し、MgがドーピングされたGaN層を形成した（ただし、Mg濃度は $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ であり、GaNのバンドギャップは3.40eVである。）。この第3半導体層52はp型コンタクト層として機能する半導体層である。このようにして、AlN基板の上に発光素子構造を形成した（以下、単に「発光素子構造」と称する。）。

[0065] 続いて、発光素子構造に、窒素雰囲気中、20分間、900°Cの条件で熱処理を施した。そして、第3半導体層52（すなわち、p型コンタクト層）の表面にフォトリソグラフィ法を用い、予め定められた形状の開口部を有するフォトレジストパターンを形成した。次に、第1半導体層20の表面が露出するまで、この開口部に対し反応性イオンエッチング処理を施した。その後、第1半導体層20の表面に真空蒸着法により第1電極60を形成した。具体的に、第1半導体層20側からTi層（ただし、厚さは20nmである。）、Al層（ただし、厚さは200nmである。）、及びAu層（ただし、厚さは5nmである。）をこの順に形成することで第1電極60を形成した。そして、第1電極60が形成された発光素子構造に対し、窒素雰囲気中、1分間、810°Cの条件で熱処理を施した。

[0066] 次に、第3半導体層52の表面に真空蒸着法により第2電極65を形成し

た。具体的に、第3半導体層52側からNi層（ただし、厚さは20nmである。）、及びAu層（ただし、厚さは50nmである。）をこの順に形成することで第2電極65を形成した。そして、第2電極65が形成された発光素子構造に対し、酸素雰囲気中、3分間、550℃の条件で熱処理を施した。これにより、発光構造を有するウエハを製造した。

[0067] そして、ダイシング装置を用い、当該ウエハから700 μ m角のチップを切り出すことで、実施例1に係る窒化物半導体発光素子を作製した。

[0068] そして、作製した実施例1に係る窒化物半導体発光素子の特性を評価した。

[0069] ここで、各半導体層の組成評価は、X線回折法（XRD）、透過型電子顕微鏡によるエネルギー分散型X線分析法（Transmission Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray spectrometry: TEM-EDX）、及び3次元アトムプローブ法（3Dimensional Atom Probe: 3DAP）を用いた。また、各半導体層のドーパント濃度の評価については、二次イオン質量分析計（Secondary Ion-microprobe Mass Spectrometer: SIMS）を用いて実施した。更に、発光層領域30の発光波長の評価については、フォトルミネッセンス法（PL法）を用いた。これらの分析手法を用いることで、各半導体層の組成、及びドーパント濃度は上記のとおりであることを確認した。

[0070] ここで、発光素子1の外部量子効率、内部量子効率と注入効率との双方に比例して決定される。内部量子効率は、発光層（例えば、量子井戸を構成する井戸層）の結晶品質に依存しており、発光層の結晶品質が高い場合、結晶品質が低い場合よりも内部量子効率は向上する。しかし、注入効率が低い場合、内部量子効率を向上させたとしても外部量子効率の向上には限界がある。したがって、キャリアブロック層40におけるキャリアの第2半導体層50側への流出を抑制する機能を向上させ、発光層領域30へのキャリアの注入効率を向上させることが、外部量子効率の向上には有効である。

[0071] そこで、実施例1～2、及び比較例1～3に係る発光素子をそれぞれ製造した。実施例1～2、及び比較例1～3に係る発光素子は、キャリアブロック層40とスペーサー層306との予め定められた領域におけるMg濃度を意図的に変化させた点を除き、実施例1に係る発光素子1と略同様の構造を備える。すなわち、実施例1～2、及び比較例1～3に関しては実施例1に対して、Mg流量を変化させている。

[0072] 表1に、実施例及び比較例それぞれについて、当該界面におけるMg濃度と外部量子効率の値とを示す。

[0073] [表1]

	予め定められた領域における比較例3に対するMg流量比	予め定められた領域におけるMg濃度(cm^{-3})	外部量子効率(%)
比較例1	0.15	7.4E+18	0.10
比較例2	0.76	3.8E+19	1.37
比較例3	1	5.0E+19	2.14
実施例1	1.1	5.5E+19	2.97
実施例2	1.2	6.1E+19	3.12

[0074] キャリアブロック層40内における予め定められた領域におけるMg濃度が高くなると外部量子効率も向上する傾向があることが示された。すなわち、キャリアブロック層40の成長開始段階からドーパントを導入し、予め定められた領域におけるMg濃度を所定の濃度より高くすることで外部量子効率が向上することが示された。これは、キャリアブロック層40の注入効率の向上に対する機能が向上したことを示唆する。

[0075] ここで、外部量子効率を高くする場合、予め定められた領域におけるMg濃度は $5.0 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$ より高くする。実施例1、2に係る発光素子によれば、予め定められた領域のMg濃度を $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ より高くすることにより、キャリアブロック層の効果をより高め、注入効率を増加させ

ることにより、高注入電流領域においても高い発光効率を実現できる。

[0076] 以上、本発明の実施の形態及び実施例を説明したが、上記に記載した実施の形態及び実施例は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態及び実施例の中で説明した特徴の組合せのすべてが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。更に、上記した実施形態及び実施例の技術的要素は、単独で適用されてもよいし、複数の部分に分割されて適用されるようにすることもできる。

符号の説明

- [0077] 1 発光素子
- 10 基板
 - 20 第1半導体層
 - 30 発光層領域
 - 32 量子井戸層
 - 40 キャリアブロック層
 - 50 第2半導体層
 - 52 第3半導体層
 - 60 第1電極
 - 65 第2電極
 - 100 バンド図
 - 200 界面
 - 300 障壁層
 - 302 井戸層
 - 304 井戸層
 - 306 スペーサー層

請求の範囲

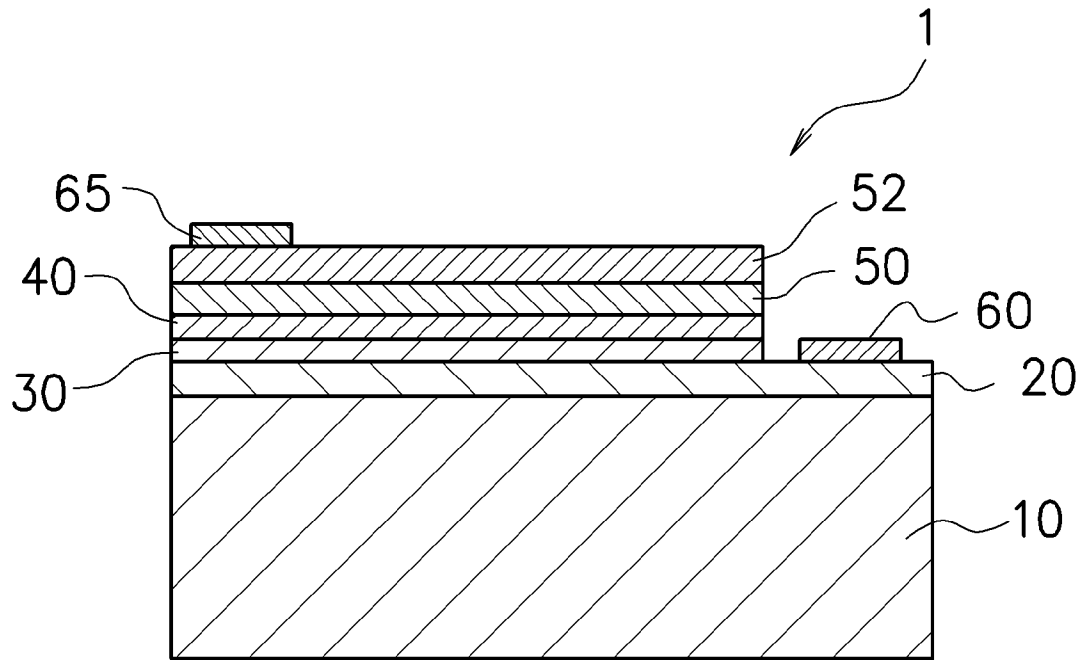
- [請求項1] 第1導電型の第1半導体層と、
前記第1導電型とは異なる第2導電型の第2半導体層と、
前記第2半導体層の前記第1半導体層側に設けられる前記第2導電型のキャリアブロック層と、
前記第1半導体層と前記キャリアブロック層との間に、発光層を有する発光層領域と
を備え、
前記キャリアブロック層内における、発光層領域との界面から予め定められた領域における前記第2導電型の不純物濃度の最大値が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高い窒化物系半導体発光素子。
- [請求項2] 前記予め定められた領域が、前記界面から前記第2半導体層側に向けて10nmまでの領域である請求項1に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項3] 前記第1半導体層が、半導体基板の上に設けられ、
前記第1半導体層、前記第2半導体層、前記発光層領域、及び前記キャリアブロック層が、AlGaIn系半導体を含んで構成される請求項1又は2のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項4] 前記半導体基板が、AlN基板であり、
前記第1半導体層が、前記AlN基板のC面上に設けられる請求項3に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項5] 前記第2導電型の不純物が、Mg、Zn、Ca、C、又はBeである請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体発光素子。
- [請求項6] 半導体基板の上に第1導電型の第1半導体層を形成する第1半導体層形成工程と、
前記第1半導体層の上に、発光層を含む発光層領域を形成する発光層領域形成工程と、
前記発光層領域の上にキャリアブロック層を形成するキャリアブ

ック層形成工程と、

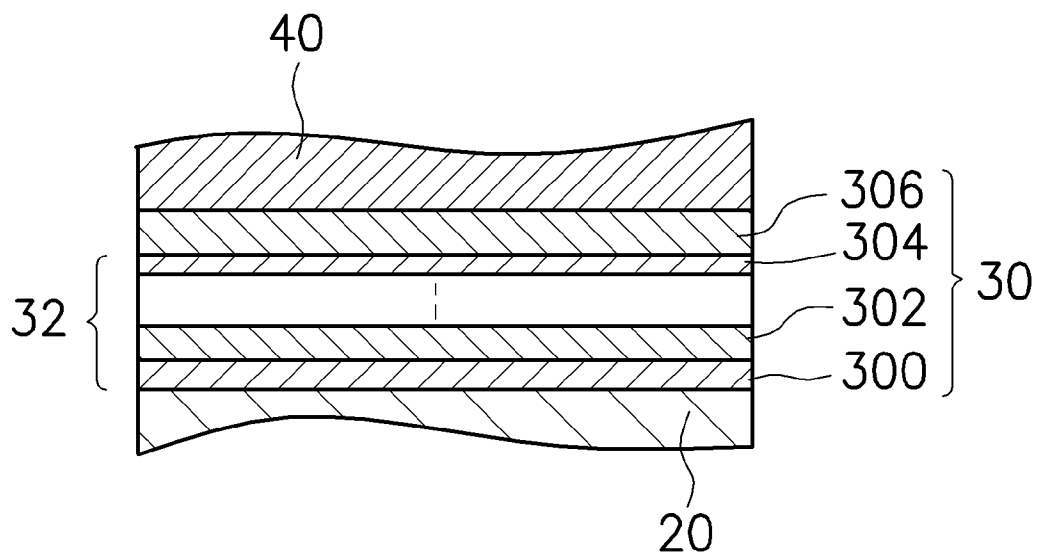
前記キャリアブロック層の上に、前記第1導電型とは異なる第2導電型の第2半導体層を形成する第2半導体層形成工程とを備え、

前記キャリアブロック層形成工程が、前記キャリアブロック層内における、発光層領域との界面から予め定められた領域における前記第2導電型の不純物濃度の最大値を、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高い濃度にする不純物導入工程を有する窒化物系半導体発光素子の製造方法。

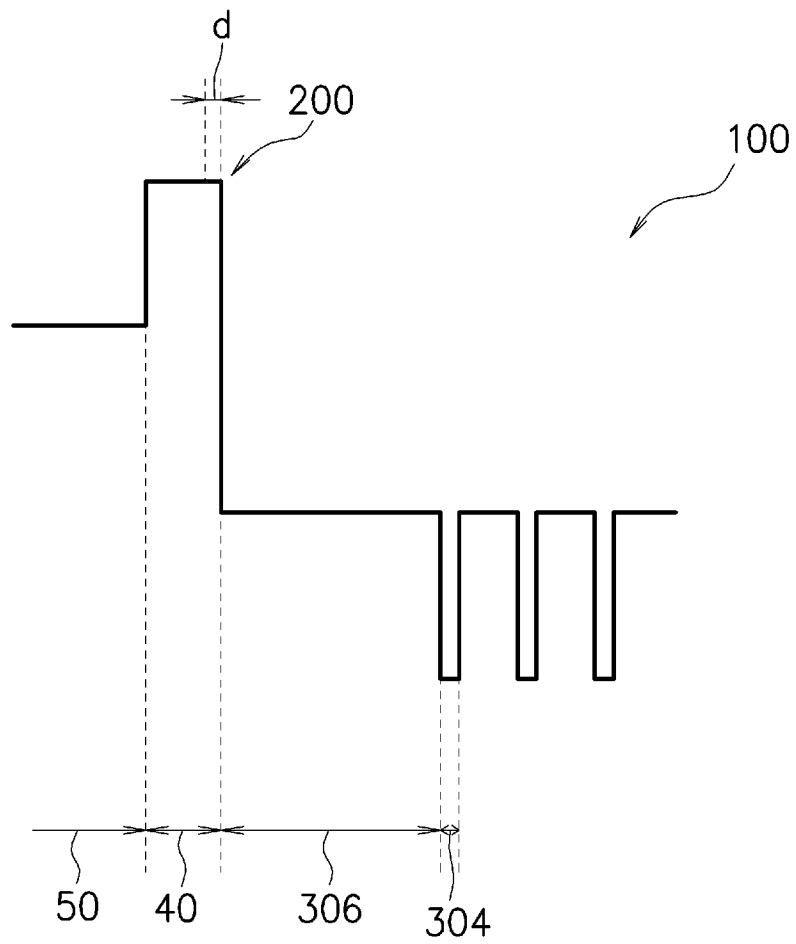
[図1]



[図2]



[図3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/053257

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L33/14(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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 Y	JP 2011-211076 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 20 October 2011 (20.10.2011), paragraphs [0035] to [0039]; fig. 1 & US 2011/0240956 A1 paragraphs [0040] to [0044]; fig. 1 & CN 102208510 A	1-2, 5-6 1-6
X Y	JP 2000-40858 A (Fujitsu Ltd.), 08 February 2000 (08.02.2000), paragraphs [0038] to [0042], [0086] to [0089]; fig. 6, 19, 20 & US 2002/0110945 A1 paragraphs [0146] to [0152], [0233] to [0236]; fig. 6, 18, 19	1-2, 5-6 1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 24 March 2016 (24.03.16)	Date of mailing of the international search report 05 April 2016 (05.04.16)
---	--

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/JP2016/053257

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 11-340580 A (Fujitsu Ltd.), 10 December 1999 (10.12.1999), paragraphs [0430] to [0453]; fig. 24 to 29 & US 6555403 B1 column 56, line 5 to column 60, line 8; fig. 40 to 45 & KR 10-0432762 B1	1-2, 5-6 1-6
Y	JP 2014-154597 A (Tokuyama Corp.), 25 August 2014 (25.08.2014), paragraphs [0037], [0077] to [0081], [0085]; fig. 1 & US 2016/0005919 A1 paragraphs [0086], [0139] to [0143]; fig. 1 & EP 2955763 A1 paragraphs [0047], [0095] to [0099]; fig. 1 & KR 10-2015-0114488 A & CN 105009310 A	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L33/14(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. H01L33/00-33/64

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
X Y	JP 2011-211076 A（豊田合成株式会社）2011.10.20, 段落 0035-0039, 図 1 & US 2011/0240956 A1, 段落 0040-0044, 図 1 & CN 102208510 A	1-2, 5-6 1-6
X Y	JP 2000-40858 A（富士通株式会社）2000.02.08, 段落 0038-0042, 0086-0089, 図 6, 19, 20 & US 2002/0110945 A1, 段落 0146-0152, 0233-0236, 図 6, 18, 19	1-2, 5-6 1-6

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

24.03.2016

国際調査報告の発送日

05.04.2016

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）

高椋 健司

2K

3715

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
X Y	JP 11-340580 A (富士通株式会社) 1999. 12. 10, 段落 0430-0453, 図 24-29 & US 6555403 B1, 第 56 欄第 5 行—第 60 欄第 8 行, 図 40-45 & KR 10-0432762 B1	1-2, 5-6 1-6
Y	JP 2014-154597 A (株式会社トクヤマ) 2014. 08. 25, 段落 0037, 0077-0081, 0085, 図 1 & US 2016/0005919 A1, 段落 0086, 0139-0143, 図 1 & EP 2955763 A1, 段落 0047, 0095-0099, 図 1 & KR 10-2015-0114488 A & CN 105009310 A	1-6