

(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  
2023年12月14日(14.12.2023)



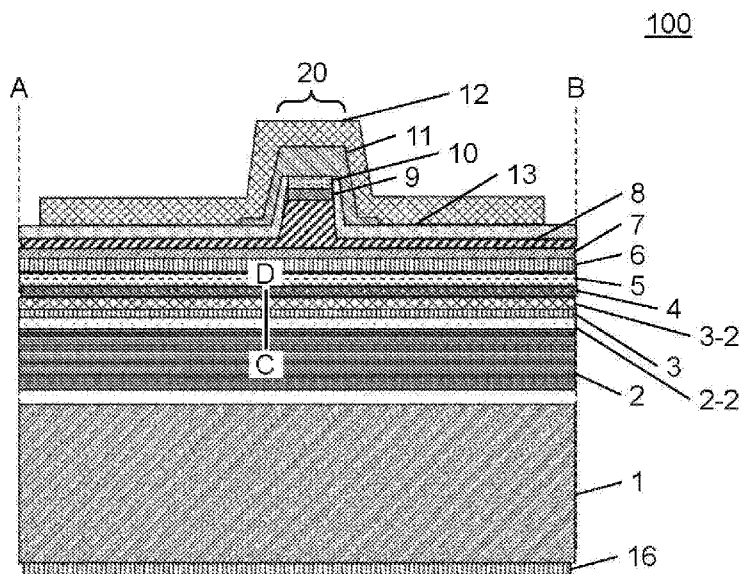
(10) 国際公開番号  
**WO 2023/238531 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*H01S 5/343* (2006.01) *H01L 33/32* (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/016127
- (22) 国際出願日: 2023年4月24日(24.04.2023)
- (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 2022-092480 2022年6月7日(07.06.2022) JP
- (71) 出願人: パナソニックホールディングス株式会社 (PANASONIC HOLDINGS 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: 川口 真生(KAWAGUCHI Masao).
- (74) 代理人: 徳田 佳昭, 外 (TOKUDA Yoshiaki et al.); 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニックホールディングス株式会社内 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: SEMICONDUCTOR ELEMENT

(54) 発明の名称: 半導体素子

[図2]



(57) Abstract: A semiconductor element according to the present invention comprises: a substrate; two or more electron-conductive layers which are sequentially stacked on the substrate and contain a group III nitride semiconductor, while having compositions different from each other; and a composition gradient layer which is arranged between at least one pair of adjacent electron-conductive layers, wherein the composition thereof changes from one electron-conductive layer side toward the other electron-conductive layer side such that the composition thereof becomes relatively closer to the composition of the other electron-conductive layer from the composition of the one electron-conductive layer. The composition gradient layer additionally contains an n-type impurity that has been doped thereinto.



WO 2023/238531 A1

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,  
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

---

(57) 要約 : 本発明の半導体素子は、基板と、前記基板上で順に積層され、III族窒化物半導体を含み、互いに組成が異なる2以上の電子伝導性層と、少なくとも一对の隣り合う前記電子伝導性層の間に配置され、一方の前記電子伝導性層側から他方の前記電子伝導性層側に向かって、組成が相対的に前記一方の電子伝導性層の組成から前記他方の電子伝導性層の組成へと近づくように変化する組成傾斜層とを有する。組成傾斜層は、ドーピングされたn型不純物をさらに含む。

## 明 細 書

発明の名称：半導体素子

### 技術分野

[0001] 本発明は、半導体素子に関し、詳細には、GaN系半導体レーザ装置に使用される半導体素子に関する。

### 背景技術

[0002] 半導体レーザは、小型、安価、高出力などの優れた特徴をもつことから、通信、光ディスクなどのIT技術のほか、医療、一部照明など、幅広い技術分野で用いられている。近年では特に、金属、樹脂、複合炭素材（CFRP）といった様々な材料の加工光源用途に高出力半導体レーザが用いられ、とりわけ、複数のレーザ発光点を束ねて高出力化する光合成技術により、数百ワットから数キロワットといった大光出力を有する加工機システムが開発され、実用に供されている。

[0003] ここで、従来、加工用半導体レーザ光源は、波長 $1\mu\text{m}$ 程度の、GaAsを半導体基板に用いるGaAs系近赤外レーザが主に用いられてきた。これは、GaAs系半導体の形成技術が高いレベルで成熟していること依拠している。ところが、このような近赤外波長のレーザには、EVモータ等に多用される銅材料の加工が、材料がレーザ光を反射してしまい、エネルギーが入熱しないために困難であるという問題がある。このことから、銅材料の吸収率が大きい（反射率が低い）青色波長域で発光する、GaN系半導体レーザを用いた波長 $405\text{nm}\sim 540\text{nm}$ の加工用光源（「半導体素子」、「半導体発光素子」ともいう）が注目されている。このような背景から、GaN系半導体レーザを高出力動作させることが求められている。

[0004] このような高出力動作時には、低出力動作時に比べて電力消費量が大きくなるが、環境負荷を低減するためには、低消費電力化（エネルギー効率の向上）がことのほか重要になる。半導体レーザを低消費電力かつ高出力化するためには、投入した電力を効率よく光に変換する必要がある。そこで、投入

したエネルギーのうちレーザ光に変換された割合を示す、電力光変換効率を高めることが肝要である。これは、投入電力を高効率に光に変換することで、光出力を増すことができるだけでなく、余剰エネルギーが熱に変わること防ぐことも可能となり、発熱に起因する光出力低下や、長期信頼性特性に対する悪影響を低減することが出来るためである。

[0005] これに対し、高出力化を実現する方法として、n側窒化物半導体層、活性層およびp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、n側窒化物半導体層にn型不純物を高濃度（ $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度）にドーピングする技術が知られている（特許文献1）。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特開2004-244013号公報

### 発明の概要

[0007] 本発明の一態様は、基板と、前記基板上で順に積層され、III族窒化物半導体を含み、互いに組成が異なる2以上の電子伝導性層と、少なくとも一対の隣り合う前記電子伝導性層の間に配置され、一方の前記電子伝導性層側から他方の前記電子伝導性層側に向かって、組成が相対的に前記一方の電子伝導性層の組成から前記他方の電子伝導性層の組成へと近づくように変化する組成傾斜層とを有し、前記組成傾斜層は、ドーピングされたn型不純物を含む、半導体素子に関する。

### 図面の簡単な説明

[0008] [図1]本発明の一実施形態に係る半導体素子を示す平面図

[図2]図1のA-B線に切って紙面に垂直な方向に切って見た断面図

[図3]本実施形態と対比するための比較例の断面図

[図4]比較例における伝導帯バンド構造の計算結果を示すグラフ

[図5A]比較例における伝導帯バンドに現れるポテンシャルスパイクのドーピング濃度依存性を示すグラフ

[図5B]比較例におけるレーザ素子の内部光損失のドーピング濃度依存性を示すグラフ

[図6]本実施形態における伝導体バンド構造の計算結果を示すグラフ

[図7]ポテンシャルスパイクの組成傾斜層の厚み依存性を示すグラフ

[図8A]ポテンシャルスパイクのドーピング濃度依存性を示すグラフ

[図8B]ポテンシャルスパイクの組成傾斜層の厚み依存性を示すグラフ

### 発明を実施するための形態

[0009] 発明者らの検討によれば、Ga N系半導体レーザにおいて、n側層を構成する各層の界面、具体的には、n側AlGa Nクラッド層とn側Ga Nガイド層との間、n側Ga Nガイド層とn側InGa Nガイド層との間に、電子注入の妨げとなることで動作電圧を上昇させる、ポテンシャルスパイクが生じることが明らかとなった。このようなポテンシャルスパイクは、上記特許文献1のように、n側層を高濃度（ $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度）にドーピングすることで減少させることができると考えられる。ところが、発明者らの検討によれば、このような高濃度のドーピングをレーザ素子に実施すると、光とキャリアの相互作用により、光損失の起源となり、光出力を減じてしまう。このように、動作電圧を低減するためには、高濃度のドーピングが必要であるが、高濃度のドーピングをすると、光出力が低下してしまうというトレードオフの問題がある。

[0010] 本発明は前記課題を解決するものであり、光損失を増加させることなく、ポテンシャルスパイクを解消して、高出力かつ低電圧動作する半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

[0011] 以下、具体的に本発明の好ましい実施形態について説明する。

[0012] （実施形態1）

#### 1. 半導体素子

以下、本発明の一実施形態にかかる半導体素子100について説明する。本実施形態においては、半導体素子100の実施例として、六方晶III族窒化物半導体を用いる青色（波長445nm）半導体レーザを用いて説明す

る。以下、図を参照しながら説明する。

[0013] 図1および図2は、本発明の一実施形態にかかる半導体素子100の図である。図1は、半導体素子100を上面方向から見た平面図である。図2は、半導体素子100を、光導波路20を含んで、図1のA-Bに沿って紙面に垂直な方向に切って見た断面図である。本実施形態にかかる半導体素子100は、pn接合半導体素子、特に半導体レーザである。半導体素子100は、n側層に組成傾斜およびn型ドーパントを有することで、組成が相違する各層の界面における、伝導帯側のポテンシャルスパイクを低減する構造を有する。

[0014] まず、半導体素子100の簡単な構成について説明する。

[0015] 図1および図2において、半導体素子100は、半導体基板1、半導体基板1上に配されたn型クラッド層2、n型クラッド層2上に配されたn側第1組成傾斜層2-2、n側第1組成傾斜層2-2上に配されたn側第1光ガイド層3、n側第1光ガイド層3上に配されたn側第2組成傾斜層3-2、n側第2組成傾斜層3-2上に配されたn側第2光ガイド層4、n側第2光ガイド層4上に配された活性層5、活性層5上に配された電子障壁層7、電子障壁層7上に配されたp型クラッド層8、および、p型クラッド層8上に配されたp型コンタクト層9を含む。半導体基板1は、例えば(0001)面であるn型六方晶GaN基板である。n型クラッド層2は、例えばn-AlGaNを含む。n側第1組成傾斜層2-2は、例えばAlの組成が徐々に低下するように積層され、n型不純物でドーピングされている。n側第1光ガイド層3は、例えばn-GaNを含む。n側第2組成傾斜層3-2は、例えばInの組成が徐々に上昇するように積層され、n型不純物でドーピングされている。n側第2光ガイド層4は、例えばn-InGaNを含む。活性層5は、例えばInGaN層を含む。p側光ガイド層6は、例えばi-GaNを含む。電子障壁層7は、例えばp-Al<sub>0.35</sub>GaNを含む。p型クラッド層8は、例えばp-AlGaN/GaN超格子を含む。p型コンタクト層9は、例えばp-GaNを含む。

[0016] 半導体素子100は、半導体素子100の光導波路20の両側を絶縁するための絶縁膜10を含む。絶縁膜10は、例えばSiO<sub>2</sub>である。半導体素子100は、光導波路20の最上面に位置する所定パターンの電極を含む。電極は、例えばPd/Ptであるp電極11、例えばTi/Pt/Auである配線電極12、例えばTi/Auであるパッド電極13を含む。半導体素子100は、光導波路20の後面に配されたリアコート層15と、光導波路20の前面に配されたフロントコート層14とを含む。リアコート層15は、光導波路20内の光を反射するための例えば誘電体多層膜で構成されている。フロントコート層14は、光を放射するための、例えば誘電体多層膜で構成されている。半導体素子100は、半導体基板1の反対側の面に配された、例えばTi/Auであるn電極16を含む。

[0017] 上記半導体素子100において、n型クラッド層2（第1層）、n側第1光ガイド層3（第2層）およびn側第2光ガイド層4（第3層）は、積層方向に電子を伝導する機能を担う電子伝導性層である。一方、p側光ガイド層6、電子障壁層7およびp型クラッド層8は、正孔を伝導する機能を担う正孔伝導性層である。そして、n電極16から電子が注入される一方、p電極11から正孔が注入される。電子および正孔は、上記各層を伝導されて、活性層5において再結合し、光に変換される。

[0018] 2以上の電子伝導性層であるn型クラッド層2、n側第1光ガイド層3およびn側第2光ガイド層4は、III族窒化物半導体を含み、かつ組成は互いに異なっている。組成が互いに異なるとは、例えばIII族（Al、Ga、In、B）の組成が互いに異なること、および/またはn型不純物ドーピング濃度が異なることをいい、好ましくはIII族（Al、Ga、In、B）の組成が互いに異なることをいう。III族の組成とは、例えばIII族を構成する各元素の比率（原子数の割合）をいう。III族の組成が異なる例には、隣り合う電子伝導性層間のAlまたはIn組成の差が0.5%以上、より効果を発揮する構成として3%であることが含まれる。n型クラッド層2とn側第1光ガイド層3との間には、n型不純物がドーピングされた第

1 組成傾斜層 2-2 が配置されている。n 側第 1 光ガイド層 3 と n 側第 2 光ガイド層 4 との間には、n 型不純物がドーピングされた第 2 組成傾斜層 3-2 が配置されている。

[0019] 第 1 組成傾斜層 2-2 について：

第 1 組成傾斜層 2-2 は、n 型クラッド層 2 と n 側第 1 光ガイド層 3 の間に配置されており、n 型クラッド層 2 側から n 側第 1 光ガイド層 3 側に向かって、組成が相対的に n 型クラッド層 2 の組成から n 側第 1 光ガイド層 3 の組成へと近づくように変化している。

[0020] ここで、「組成が相対的に n 型クラッド層 2 の組成から n 側第 1 光ガイド層 3 の組成へと近づくように変化する」とは、第 1 組成傾斜層 2-2 において、n 型クラッド層 2 の組成に近い組成から n 側第 1 光ガイド層 3 の組成に近い組成へと徐々に変化することを意味する。組成変化は、膜厚に対する組成変化量の二階微分値が正、負、ゼロの何れであってもかまわないが、単調に減少することが好ましい。単調に組成減少させることで、スパイクの起源となる、AlGaIn の伸張歪に起因する固定電荷を空間的により分配しやすくすることができる。本実施形態では、第 1 組成傾斜層 2-2 の Al の組成は、n 型クラッド層 2 側から n 側第 1 光ガイド層 3 側に向かって減少している。本願明細書において、Al の組成 (Al 組成) とは、III 族元素において Al 原子が占める原子数の割合を示す。

[0021] 第 1 組成傾斜層 2-2 の隣接する層との境界付近の組成は、当該隣接する層の組成と同じであってもよい (連続的)、異なってもよい (非連続的)。例えば、第 1 組成傾斜層 2-2 の n 型クラッド層 2 との境界付近の Al の組成は、n 型クラッド層 2 の Al の組成と同じであってもよいし、それよりも多くてもよいし、少なくともよく、n 型クラッド層 2 の Al の組成と同じであるか、それよりも少ないことが好ましい。

[0022] 第 1 組成傾斜層 2-2 の n 側第 1 光ガイド層 3 との境界付近の Al の組成は、n 側第 1 光ガイド層 3 の Al の組成と同じであってもよいし、それよりも多くてもよいし、少なくともよく、n 側第 1 光ガイド層 3 の Al の組成と



同じであるか、それよりも少ないことが好ましい。

[0023] 第1組成傾斜層2-2にドーピングされるn型不純物の例には、Si、Ge、Se、S、Oなどの第IVB族、VIB族元素が含まれる。中でも、Si、Ge、Oが好ましく、Siがより好ましい。n側第1組成傾斜層2-2のn型不純物のドーピング濃度は、第1組成傾斜層2-2の厚みにもよるが、好ましくは $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度にすると良い。

[0024] 第1組成傾斜層2-2の厚みは、n型不純物のドーピング濃度にもよるが、好ましくは15nm以上、より好ましくは50nm以上である。第1組成傾斜層2-2の厚みの上限値は、特に制限されず、例えば100nmである。

[0025] 第2組成傾斜層3-2について：

第2組成傾斜層3-2は、n側第1光ガイド層3とn側第2光ガイド層4の間に配置され、n側第1光ガイド層3側からn側第2光ガイド層4側に向かって、組成が相対的にn側第1光ガイド層3の組成からn側第2光ガイド層4の組成に近づくように組成が変化している。

[0026] ここで、「組成が相対的にn側第1光ガイド層3の組成からn側第2光ガイド層4の組成へと近づくように変化する」とは、第2組成傾斜層3-2において、n側第1光ガイド層3の組成に近い組成からn側第2光ガイド層4の組成に近い組成へと徐々に変化することを意味する。組成変化は、厚みに対する組成変化量（本実施形態ではInの組成の変化量）の二階微分値が正、負、ゼロの何れであってもかまわないが、本実施形態では、負、すなわち単調に増加することが好ましい。単調に組成を増加させることで、スパイクの起源となる、InGaNの圧縮歪に起因する固定電荷を空間的に分配することができる。本実施形態では、第2組成傾斜層3-2のInの組成は、n側第1光ガイド層3側からn側第2光ガイド層4側に向かって増加している。本願明細書において、Inの組成（In組成）とは、III族元素においてIn原子が占める原子数の割合を示す。

- [0027] 第2組成傾斜層3-2の隣接する層との境界付近の組成は、当該隣接する層の組成と同じであってもよいし、異なってもよい。例えば、第2組成傾斜層3-2のn側第1光ガイド層3との境界付近のInの組成は、n側第1光ガイド層3のInの組成と同じであってもよいし、それよりも多くてもよいし、少なくともよく；n側第1光ガイド層3のInの組成と同じであるか、それよりも少ないことが好ましい。
- [0028] 第2組成傾斜層3-2のn側第2光ガイド層4との境界付近のInの組成は、n側第2光ガイド層4のInの組成と同じであってもよいし、それよりも多くてもよいし、少なくともよく；n側第2光ガイド層4のInの組成と同じであるか、それよりも少ないことが好ましい。
- [0029] 第2組成傾斜層3-2のドーピング濃度や厚みは、第1組成傾斜層2-2のドーピング濃度や厚みと同一または同様としうる。
- [0030] 上記のような組成傾斜領域がなく、組成が急峻に変化する場合、相対する界面において、分極に起因する正負の固定電荷が生じる。薄い界面の相対する面に正負電荷が生じるため、巨大な電界強度が生じる。このような巨大な電界がバンドスパイクを生じる。界面を通過する電子からみると、このような電界は静止力として機能するため、付加的な電圧を印加して加速しないと通過できない。この付加的な電圧分だけ動作電圧が増加することとなる。また、組成傾斜領域を設けても、n型不純物のドーピングがされていない場合、ポテンシャルスパイクの発生を十分には抑制できない。
- [0031] これに対し、上記のような組成傾斜領域を設けて組成を傾斜させると、固定電荷を空間的に一様分布に近い様態とすることが可能となり、電界強度が小さくなる。さらに、組成傾斜領域をn型ドーピングすることで、電子伝導を補助することが可能となり、効果的に電界強度を減じることができる。すなわち、n型不純物がドーピングされた組成傾斜層を設けることで、半導体素子100の内部光損失を増大させることなく、光出力を高めることができる。
- [0032] なお、組成変化を、組成が単調に増加または減少することと定義したが、

全体として実質的に組成が単調に増加、減少していれば、その内部に組成一定、ないしはわずかに組成が上昇する領域を有してもかまわない。

[0033] 他の層について：

上記以外の他の層については、後述する半導体素子100の製造方法において説明する。

[0034] 以下、本実施形態における第1組成傾斜層2-2および第2組成傾斜層3-2（以下、これらを総称して「組成傾斜層」ともいう）の具体的な構成について、比較例と対比しながら説明する。

[0035] 図3に、図2に示す実施形態において、2-2および3-2に示す組成傾斜層がない構造を、比較例として示す。なお、比較例の半導体素子の上面図は図1と同様であるため省略する。また、図3の比較例において、ドーピングされた組成傾斜層の有無以外は図1の実施形態と同一であるため、層構成などの記載は省略する。また、本願におけるAlおよびIn組成とは、各層のIII族元素において、AlおよびIn原子が占める原子数の割合（原子％）を示す。

[0036] 図4に、図3に示す比較例において、pn接合にバイアス電圧として4Vを印加した際の、図3のC-D間の伝導帯側のバンド構造図を示す。図4中のn-AlGa<sub>0.98</sub>N等の標記は積層構造を表し、n-AlGa<sub>0.98</sub>N、n-GaN、n-InGa<sub>0.03</sub>Nは、図3のn型クラッド層2、n側第1光ガイド層3、n側第2光ガイド層4に相当する。なお、同図は、AlGa<sub>0.98</sub>N層のIII族中のAl組成を2.6%、InGa<sub>0.03</sub>N層のIII族中のIn組成を3%とし、かつAlGa<sub>0.98</sub>N層とGaN層のSiドーピング濃度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした場合の計算結果である。また、図4上側に、Al、In組成およびSiドーピング濃度の場所依存性を示す。

[0037] 図4において、n-AlGa<sub>0.98</sub>Nとn-GaNの界面、およびn-GaNとn-InGa<sub>0.03</sub>Nの界面に、伝導帯側バンドに2つの正方向のポテンシャル飛び（スパイク）が発生する。ここで、n-AlGa<sub>0.98</sub>N/n-GaN界面のスパイクをスパイクA、n-GaN/n-InGa<sub>0.03</sub>N界面をスパイクBと表記

する。図3において、n電極16から電子が、p電極11から正孔が注入され、途中各層を縦断して活性層5において再結合して光に変換される。ここで、電子が活性層5に向けて伝導帯上を伝導するためには、電子がスパイクA、スパイクBを乗り越えるためのポテンシャル（電圧）を図3のC-D間に印加する必要がある。言い換えると、同一の電子流を得るために必要な駆動電圧が上昇することとなり、これは、素子抵抗の上昇と等価であるといえることができる。このような素子抵抗の増加は、同一の光出力を得るために必要な駆動電圧、すなわち駆動電力の増加をもたらす、消費電力の増加、素子温度の増大に伴う光出力の低下および故障に繋がるため好ましくない。

[0038] このようなポテンシャルスパイクを解消できる構造として、n-AI GaNであるn型クラッド層2およびn-GaNであるn側第1光ガイド層3のドーピング濃度を増加させることが効果的である。

[0039] 図5Aに、図4において、n-AI GaNであるn型クラッド層2およびn-GaNであるn側第1光ガイド層3のSiドーピング濃度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ に変えた時のポテンシャルスパイクA、Bの値を発明者らが計算した結果を示す。ドーピング濃度とともにポテンシャルスパイクは低下し、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のドーピングではスパイクが0.05 eV程度と十分に低くなっていることがわかる。ところが、このような高濃度ドーピングにも問題がある。

[0040] 図5Bに、図3に示す比較例において、n-AI GaNであるn型クラッド層2およびn-GaNであるn側第1光ガイド層3のドーピング濃度を变化させたときの、レーザ素子の内部光損失を計算した値を示す。ここで、内部光損失は、各層の屈折率と光消衰係数を分光エリプソメトリーで測定し、これを、スカラー波動方程式に適用することで求めた。波動方程式を簡易に解くために、転送行列法を用いている。

[0041] 図5Bに示すように、Siドーピング濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えると内部光損失は大きく上昇し、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ では、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と比較して倍程度に増加する。一方、レーザの光出力は内部光損失により低下す

ることから、 $3\text{ cm}^{-1}$ 未満程度とするとよい。このことから、ドーピング濃度は $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下、より好ましくは $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下程度とするとよい。ところが、ドーピング濃度を低下させると、図5Aに示すポテンシャルスパイクが増加するというトレードオフの関係にある。

[0042] 図6は、本実施形態の実施例におけるバンド構造とポテンシャルスパイクの計算結果である。図6上側に、Al、In組成およびSiドーピング濃度の場所依存性を示す。実線が組成傾斜層なし（比較例）、点線がドーピングを実施した組成傾斜層あり（実施例）場合の組成および濃度プロファイルである。なお、実施例は、組成傾斜層の厚みを50nm、Siドーピング濃度を $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ とした場合の計算結果であり、その他の条件（バイアス電圧など）は比較例と同様である。

[0043] 図6に示されるように、組成傾斜層の組成傾斜とSiドーピングによって、ポテンシャルスパイクが低減しており、動作電圧の低減が見込まれる。具体的には、第1組成傾斜層2-2によりスパイクAが低減され、第2組成傾斜層3-2によりスパイクBが低減されている。

[0044] 図7は、実施例において、図6に記載の組成傾斜層の厚みとSiドーピング濃度を様々に変えた時のポテンシャルスパイクAおよびBを計算した結果をまとめたものである。

[0045] 図7に示されるように、組成傾斜層のドーピング濃度を高く、厚みを厚くした場合に、ポテンシャルスパイクが低減される。レーザ素子においては、ポテンシャルスパイクを0.2eV（動作電圧で概ね0.2Vの上昇）以下とすることが好ましい。このことから、ドーピング濃度 $7.5 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ のとき、組成傾斜層の厚みは40nm以上、ドーピング濃度 $1.0 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のとき20nm以上、 $2.0 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のときは10nm以上とすることが望ましい。これらのことから、ドーピング濃度 $7.5 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 以下のとき、組成傾斜層の厚みは50nm以上であることが好ましい。

[0046] なお、本実施例においても、図5Bに示したレーザ素子の内部光損失のドーピング濃度依存性から、ドーピング濃度は $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下とするこ

とが望ましい。ドーピング濃度の下限値は、III族組成にもよるが、例えば  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  程度としうる。

[0047] 図8Aおよび図8Bは、図7におけるポテンシャルスパイク量の、組成傾斜層の厚みおよびドーピング濃度依存性を、ポテンシャルスパイクA（図8A）、B（図8B）に分けてコンターマップとして再描画したものである。各図中2本の点線は、それぞれスパイク量  $0.1 \text{ eV}$  および  $0.2 \text{ eV}$  の線に対応する。

[0048] デバイスの動作電圧を低減するためには、スパイクはそれぞれ  $0.2 \text{ eV}$  以下、より好ましくは  $0.1 \text{ eV}$  以下とするとよい。図8Aおよび図8Bからは、ポテンシャルスパイクを低減できるドーピング濃度と組成傾斜層の厚みの組み合わせが視覚的に確認できる。各図中右上の領域が、スパイクが小さい領域である。ドーピング濃度が高く、組成傾斜層の厚みが大きいとき、スパイクが減少する。

[0049] 図8AのポテンシャルスパイクAにおいて、スパイクが  $0.2 \text{ eV}$  以下となるのは、以下の2つの直線で囲まれる、図中右上の領域（ $d$  および  $c$  が以下の直線の式よりも大きい値をとる領域）に第1組成傾斜層2-2の厚み  $d$  とドーピング濃度  $c$  を設定した場合である。

[0050] 式(1) :  $d \geq a_1 \cdot c + b_1$  ( $5.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 6.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -1.73 \times 10^{-15}$ 、 $b_1 = 1122.7$

式(2) :  $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $6.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 2.03 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_2 = -3.4 \times 10^{-17}$ 、 $b_2 = 69.1$

同様に、図8AのポテンシャルスパイクAにおいて、スパイクが  $0.1 \text{ eV}$  以下となるのは、以下の3つの直線で囲まれる、図中右上の領域（ $d$  および  $c$  が以下の直線の式よりも大きい値をとる領域）に第1組成傾斜層2-2の厚み  $d$  とドーピング濃度  $c$  を設定した場合である。

[0051] 式(3) :  $d \geq a_1 \cdot c + b_1$  ( $7.25 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -2.08 \times 10^{-15}$ 、 $b_1 = 1608.7$

式(4) :  $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1.03 \times$

$$1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -1.51 \times 10^{-16}、b = 161.2$$

$$\text{式 (5)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (1.03 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1.65 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -1.04 \times 10^{-18}、b = 17.2$$

これらのことから、スパイクAを一層低減しやすくする観点では、第1組成傾斜層2-2の厚みdおよびドーピング濃度cは、式(1)または(2)を満たすように設定することが好ましく、式(3)～(5)のいずれかを満たすように設定することがより好ましい。

[0052] 図8BのポテンシャルスパイクBにおいて、スパイクが0.2 eV以下となるのは、以下の4つの直線で囲まれる、図中右上の領域(dおよびcが以下の直線の式よりも大きい値をとる領域)に第2組成傾斜層3-2の厚みdとドーピング濃度cを設定した場合である。

$$\text{[0053] 式 (6)} : d \geq a_1 \cdot c + b_1 \quad (6.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 7.27 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -4.8 \times 10^{-16}、b = 388.2$$

$$\text{式 (7)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (7.27 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 8.86 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -1.23 \times 10^{-16}、b = 128.2$$

$$\text{式 (8)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (8.86 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -1.58 \times 10^{-16}、b = 159.4$$

$$\text{式 (9)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1.25 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -6 \times 10^{-18}、b = 7.5$$

同様に、図8BのポテンシャルスパイクBにおいて、スパイクが0.1 eV以下となるのは、以下の3つの直線で囲われる、図中右上の領域(dおよびcが以下の直線の式よりも大きい値をとる領域)に第2組成傾斜層の厚みdとドーピング濃度cを設定した場合である。

$$\text{[0054] 式 (10)} : d \geq a_1 \cdot c + b_1 \quad (7.25 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 9.38 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -3.78 \times 10^{-16}、b = 374$$

$$\text{式 (11)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (9.38 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})、a_1 = -1.21 \times 10^{-16}、b = 133$$

$$\text{式 (12)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})$$

$m^{-3}$ )、 $a_1 = -6 \times 10^{-18}$ 、 $b = 18$

これらのことから、スパイクBを一層低減しやすくする観点では、第2組成傾斜層3-2の厚みdおよびドーピング濃度cは、式(6)~(9)のいずれかを満たすように設定することが好ましく、式(10)~(12)のいずれかを満たすように設定することがより好ましい。

[0055] 2. 作用

上記の通り、Ga<sub>1-x</sub>N系半導体レーザ素子を構成するウルツ鉱Ga<sub>1-x</sub>N系材料(AIGaN、Ga<sub>1-x</sub>N、InGa<sub>1-x</sub>Nなど)では、結晶の対称性から規定される分極電荷が大きいという特徴がある。たとえば、Ga<sub>1-x</sub>N上にAIGaNを積層した場合、C(0001)面では表面側に負の、裏面側に正の固定電荷がそれぞれ形成される。分極は、膜組成により決まる自発分極と、膜中の歪によって決まる piezo 分極との和となるが、AIGaNはGa<sub>1-x</sub>N上に歪を有する形で形成されることから、固定電荷はAIGaNでGa<sub>1-x</sub>Nよりも大きくなる。したがって、AIGaN/Ga<sub>1-x</sub>Nヘテロ界面では、正の固定電荷が負の固定電荷よりも多いため、電荷のバランスをとるためにその界面に多くの自由電子/正孔が形成されることになる。この自由電子がバンドポテンシャルを変形させ、電子注入を阻害するポテンシャルスパイクの起源となる。

[0056] これに対し、上記本実施形態にかかる半導体素子100は、少なくとも一部の隣り合う電子伝導性層間(n型クラッド層2とn側第1光ガイド層3との間、n側第1光ガイド層3とn側第2光ガイド層4との間)に配置され、ドーピングされたn型不純物を含む組成傾斜層(第1組成傾斜層2-2および第2組成傾斜層3-2)とを有する。

[0057] 上記実施形態にかかる構成によれば、例えばn-AIGaNを含むn型クラッド層2とn-Ga<sub>1-x</sub>Nを含むn側第1光ガイド層3との間に組成を傾斜させた領域を設けることにより、固定電荷の空間的分布を分散させ、自由電子/正孔の分布を分散せうる。さらに、傾斜領域をn型不純物で適切にドーピングすることにより、効果的にバンドポテンシャルを低減ないしは消失せうる。すなわち、n型不純物でドーピングされた組成傾斜層を設けること



で、レーザの光吸収を生じる程度の高濃度ドーピングを施さずとも、ポテンシャルスパイクを低減し、動作電圧を低くすることで、光出力を改善することができる。

[0058] 3. 半導体素子の製造方法

続いて、半導体素子100の製造方法について、詳細な構成と合わせて説明する。

[0059] まず、主面が(0001)面であるn型六方晶Ga<sub>2</sub>N基板1を準備する。n型六方晶Ga<sub>2</sub>N基板1上に、例えば有機金属気層成長法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition; MOCVD法)を用いてn型クラッド層2からp型コンタクト層9までを連続的に成膜する。まず、Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nを含むn型クラッド層2を、例えば0.5~5μm、好ましくは3μm程度積層する。

[0060] ここで、成膜のためのガス原料としては、たとえばIII族原料にトリメチルガリウム(TM<sub>3</sub>G)、トリメチルインジウム(TM<sub>3</sub>I)、トリメチルアルミニウム(TM<sub>3</sub>A)、n型不純物にシラン、V族原料にアンモニアなどを用いればよい。n-AlGa<sub>2</sub>Nを含むn型クラッド層2のSiドーピング濃度は、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度にすると良い。

[0061] 次に、Alの組成を、例えば50nm程度にわたって3%から0%に低下させながら、n-AlGa<sub>2</sub>Nを含む第1組成傾斜層2-2を積層する。組成変化させる手法としては、Al原料(TM<sub>3</sub>A)供給量を徐々に低下させればよい。あるいは、TM<sub>3</sub>A供給量は一定として、Ga原料(TM<sub>3</sub>G)供給量を徐々に増加させてもよい。この場合、Siドーピング濃度を実質的に一定値に保つために、SiH<sub>4</sub>原料供給量をTM<sub>3</sub>G供給量の増加に応じて増加させると良い。さらに、AlやGa原料の供給量を徐々に変化させるのではなく、Al原料をパルス的に供給し、DUTYを徐々に低下させることで、実質的に組成を連像的に減少させてもよい。ここで、組成変化や隣接する層との境界付近のAlの組成、n型不純物のドーピング濃度は、上記した通りである。

[0062] 次に、 $n$ 側第1光ガイド層3を構成する $n$ -Ga<sub>0.95</sub>Nを、例えば0.05～0.5 μm、好ましくは0.25 μm程度成長させる。ここで、 $n$ -Ga<sub>0.95</sub>Nを含む $n$ 側第1光ガイド層3のSiドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度とすることが好ましい。

[0063] さらに、第2組成傾斜層3-2を構成する $n$ -InGa<sub>0.95</sub>Nを、 $n$ 側第1光ガイド層3の $n$ -Ga<sub>0.95</sub>N層側から徐々にInの組成を上昇させながら積層する。組成増加させる手法としては、In原料(TMI)供給量を徐々に増加させればよい。あるいは、TMI<sub>0.95</sub>供給量は一定として、Ga原料(TMG)供給量を徐々に減少させてもよい。この場合、Siドーピング濃度を実質的に一定値に保つために、SiH<sub>4</sub>原料供給量をTMG供給量の増加に応じて増加させると良い。さらに、InやGa原料の供給量を徐々に変化させるのではなく、In原料をパルス的に供給し、DUTYを徐々に増加させることで、実質的に組成を連続的に増加させてもよい。あるいは、Inの取り込み量が温度を下げると増加することから、TMIとTMG供給量は一定としつつ、成長温度を徐々に低下させることで、Inの組成を増加させてもよい。800℃の温度域であれば、20℃程度の低温下によって、ここで、組成変化や隣接する層との境界付近のInの組成、 $n$ 型不純物のドーピング濃度は、上記した通りである。

[0064] 第2組成傾斜層3-2上に、 $n$ -InGa<sub>0.95</sub>Nを含む $n$ 側第2光ガイド層4を形成する。 $n$ 側第2光ガイド層4の厚みは、例えば10～500 nm、好ましくは200 nm程度である。

[0065] 以下に、活性層5の積層方法について説明する。In<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバリア層とIn<sub>0.18</sub>Ga<sub>0.82</sub>N量子井戸層2周期からなる量子井戸活性層を成長させる。まず、第一のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバリア層を20 nm成長させる。次に、第一のIn<sub>0.18</sub>Ga<sub>0.82</sub>N量子井戸層を約3.0 nm成長させる。続いて、第二のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバリア層を約10 nm成長させたのち、第二のInGa<sub>0.95</sub>N井戸層を3.0 nm成長させる。最後に、第三の第二のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバリア層を10 nm成長させる。

- [0066] ここで、 $\text{InGaN}$ バリア層の膜厚が厚いと、バリア層における発光性再結合によって内部量子効率が低下してしまう。そこで、各バリア層の厚みは最大でも $40\text{ nm}$ 程度にとどめることが好ましい。また、上記例では $10\text{ nm}$ 一定としたが、キャリア注入の均一性などの観点から、第一から第三のバリア層の膜厚が異なってもかまわない。
- [0067] 次に、 $p$ 側光ガイド層6を構成する $i\text{-InGaN}$ 層、 $i\text{-GaIn}$ または $i\text{-AlGaIn}$ 、もしくはそれらの層の組み合わせからなる層を $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 程度積層する。ここで、素子内部への光閉じ込めの観点から、活性層5側から $n$ 型クラッド層2側へと屈折率が低下する構成とするとよい。すなわち、活性層5に近い側から、 $\text{InGaIn}$ 、 $\text{GaIn}$ 、 $\text{AlGaIn}$ の順にガイド層を構成することで、光閉じ込めを増加させることができる。
- [0068] 次に、電子障壁層7を構成する $p\text{-Al}_{0.35}\text{GaIn}$  ( $\text{Mg}$ 濃度 $5\times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ )を $5\text{ nm}$ 積層する。 $p\text{-AlGaIn}$ 層は、たとえばシクロペンタジエニルマグネシウム ( $\text{Cp}2\text{Mg}$ )用いて $\text{Mg}$ 濃度が $5\times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ となるようにすると良い。
- [0069] 次に、 $p\text{-Al}_{0.03}\text{GaIn}$ 層 $600\text{ nm}$ からなる $p$ 型クラッド層8を、例えば $\text{Mg}$ 濃度を $1\times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ として積層する。さらに、膜厚 $10\text{ nm}$ からなる $p\text{-GaIn}$ を含む $p$ コンタクト層9を、 $\text{Mg}$ 濃度を $1\times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$ として積層する。
- [0070] 次に、成長したウェハをリッジストライプ型レーザに加工する。
- [0071] まず、例えば熱 $\text{CVD}$ 法により、 $p$ 型コンタクト層9の上に、膜厚が $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ からなる $\text{SiO}_2$ 絶縁膜 (図示なし)を成膜する。さらに、フォトリソグラフィ法及びフッ化水素酸を用いるエッチング法により、 $\text{SiO}_2$ 絶縁膜を幅 $16\text{ }\mu\text{m}$ のストライプ状に残して他の領域をエッチングする。このとき、六方晶窒化物半導体の自然へき開面 ( $m$ 面)を利用してレーザの端面を形成することを考慮して、ストライプの向きは六方晶 $\text{GaIn}$ の $m$ 軸方向に平行とする。
- [0072] 次に、誘導結合プラズマ ( $\text{ICP}$ )エッチング法により、 $\text{SiO}_2$ 絶縁膜を

用いて積層構造体の上部を $1.0\mu\text{m}$ の深さにエッチングして、p型コンタクト層9及びp型クラッド層8の上部から、光導波路20を構成するリッジストライプ部を形成する。その後、フッ化水素酸を用いて第2のマスク膜を除去し、再度、熱CVD法により、露出したp型クラッド層8上にリッジストライプ部を含む全面にわたって、膜厚が $200\text{nm}$ の $\text{SiO}_2$ からなる絶縁膜10を再度形成する。

[0073] 次に、リソグラフィ法により、絶縁膜10におけるリッジストライプ部（光導波路20）の上面に、該リッジストライプ部に沿って幅が $15.5\mu\text{m}$ の開口部を有するレジストパターンを形成する。続いて、例えば三フッ化メタン（ $\text{CHF}_3$ ）ガスを用いた反応性イオンエッチング（Reactive Ion Etching:RIE）により、レジストパターンをマスクとして $\text{SiO}_2$ 絶縁膜をエッチングすることにより、リッジストライプ部の上面からp型コンタクト層9を露出させる。

[0074] 次に、例えば電子ビーム（Electron Beam:EB）蒸着法により、少なくともリッジストライプ部の上面から露出したp型コンタクト層9の上に、例えば厚さが $40\text{nm}$ のパラジウム（Pd）と厚さが $35\text{nm}$ の白金（Pt）とからなるp電極11を構成する金属積層膜を形成する。その後、レジストパターンを除去するリフトオフ法により、リッジストライプ上部以外の領域の金属積層膜を除去して、p電極11を形成する。

[0075] 次に、図1に示すように、リソグラフィ法及びリフトオフ法により、配線電極12を選択的に形成する。配線電極12は、絶縁膜10の上にリッジストライプ部の上部のp電極11を覆う。配線電極12は、例えばリッジストライプ部に平行な方向の平面寸法が $750\mu\text{m}$ で、且つリッジストライプ部に垂直な方向の平面寸法が $150\mu\text{m}$ である。配線電極12は、例えばTi/Pt/Auからなる。ここで、配線電極12は、それぞれ厚さが $50\text{nm}$ 、 $200\text{nm}$ 及び $100\text{nm}$ のチタン（Ti）/白金（Pt）/金（Au）の金属積層膜により形成する。なお、一般に、複数のレーザ装置はウェハの主面上に行列状に形成される。従って、ウェハ状態にある基板から個々のレ

ーザチップに分割する際に、配線電極12を切断すると、該配線電極12に密着したp電極11がp型コンタクト層9から剥がれるおそれがある。そこで、図1に示すように、配線電極12は互いに隣接するチップ同士でつながっていないことが望ましい。続いて、電解めっき法により、配線電極12の上部に、例えば厚み10 $\mu$ mのAu層を形成し、パッド電極13を形成する。このようにすると、ワイヤボンディングによるレーザチップの実装が可能となると共に、活性層5における発熱を効果的に放熱させることができるため、半導体素子100の信頼性を向上することができる。

[0076] 次に、Auパッド電極まで形成されたウェハ状態の半導体素子100の裏面を、ダイヤモンドスラリにより研磨して、半導体基板1の厚さが100 $\mu$ m程度になるまで薄膜化する。その後、例えばEB蒸着法により、半導体基板1の裏面（光導波路20が形成された面と反対の面）に、例えば厚さが5nmのTi、厚さが10nmの白金及び厚さが1000nmのAuからなる金属積層膜を形成することでn電極16を形成する。

[0077] 次に、ウェハ状態の半導体素子100を、m軸方向の長さが例えば1200 $\mu$ mとなるようにm面に沿って劈開（1次劈開）する。続いて、たとえば電子サイクロトロン共鳴（ECR）スパッタ法を用いて、レーザ光が出射する劈開面に対してフロントコート膜14を、反対の劈開面に対してリアコート膜15を形成する。ここでフロントコート膜14の材料としては、たとえばSiO<sub>2</sub>単層膜などの誘電体膜を用いる。また、リアコート膜15の材料としては、例えばZrO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>積層膜などの誘電体膜を用いる。なお、半導体素子100のフロント側（光出射側）の反射率を例えば6%、リア側（光出射側と反対側）を例えば95%とすることで、高効率な半導体素子100を構成することができる。

[0078] 続いて、1次劈開された半導体素子100を、例えばa軸方向の長さが200 $\mu$ mピッチで形成されている光導波路20の間を、a面に沿って劈開（2次劈開）することでレーザチップが完成される。

[0079] なお、上記本実施形態では、半導体素子100が図2に示される層構成を

有しているが、これに限らない。例えば、本実施形態では、電子伝導性層の数が2つであるが、1つであってもよいし、3つ以上であってもよい。例えば、半導体素子100は、基板1、n型クラッド層2、ドーパされた第1組成傾斜層2-2、n側第1光ガイド層3、活性層5、p側光ガイド層6およびp型クラッド層8を少なくとも有していればよい。

[0080] また、本実施形態では、組成傾斜層の数が2つであるが、半導体素子100の層構成に応じて設定されればよく、1つであってもよいし、3つ以上であってもよい。例えば、本実施形態においてn側第2光ガイド層4がない場合、第2組成傾斜層3-2はなくてもよい。

[0081] また、本実施形態では、第1組成傾斜層2-2がAlGaInを含むn型クラッド層2とGaInを含むn側第1光ガイド層3の間に配される。さらに、第2組成傾斜層3-2がGaInを含むn側第1光ガイド層3とInGaInを含むn側第2光ガイド層4との間に配される。これに限らず、組成傾斜層が例えばAlInGaInを含む層とGaInを含む層の間に配されてもよい。組成傾斜層のInの組成またはAlの組成がGaInの界面に向けて低下してもよい。

[0082] また、本実施形態では、GaIn系材料について記載したが、組成の異なる層を積層することで分極を生じる他の材料系、例えばGaAs上のAlGaAs/InGaAs、InP上のInGaAsP、AlGaAsP、GaSb上のGaInSb等であってもかまわない。すなわち、III族-V族半導体のV族の種類や、III族の種類、それらの組み合わせ、およびそれらの比率を変えたものであってもよい。

[0083] また、本実施形態では、n側層においてn型不純物のドーピングおよび組成傾斜する場合について記載したが、p側層において同様のp型不純物のドーピングおよび組成傾斜を施してもかまわない。

[0084] また、本実施形態において、チップを幅200 $\mu$ mに分割したが、複数の発光素子が連続して形成されたアレイ素子としてもかまわない。

[0085] また、本実施形態において、pn接合型半導体レーザについて記載したが

、積層方向に電子伝導し、組成が相違する層におけるポテンシャルを有する構造であれば、pn接合型半導体LED、ないしは単極性の電子伝導型量子カスケードレーザであってもかまわない。

[0086] また、上記本実施形態では、半導体素子100の製造方法において、積層構造を形成する際の結晶成長法には、MOCVD法を用いる場合について記述したが、例えば分子ビーム成長(Molecular Beam Epitaxy: MBE)法又は化学ビーム成長(Chemical Beam Epitaxy: CBE)法等の、GaN系青紫色半導体レーザ構造が成長可能な成長方法を用いてもよい。

[0087] 本発明によれば、光損失を増加させることなく、ポテンシャルスパイクを解消して、高出力かつ低電圧動作する半導体レーザ素子を実現することができる。

### 符号の説明

- [0088]
- 1 半導体基板
  - 2 n型クラッド層
  - 2-2 第1組成傾斜層
  - 3 n側第1光ガイド層
  - 3-2 第2組成傾斜層
  - 4 n側第2光ガイド層
  - 5 活性層
  - 6 p側光ガイド層
  - 7 電子障壁層
  - 8 p型クラッド層
  - 9 p型コンタクト層
  - 10 絶縁膜
  - 11 p電極
  - 12 配線電極
  - 13 パッド電極

14 フロントコート膜

15 リアコート膜

16 n電極



## 請求の範囲

[請求項1]

基板と、

前記基板上で順に積層され、III族窒化物半導体を含み、互いに組成が異なる2以上の電子伝導性層と、

少なくとも一对の隣り合う前記電子伝導性層の間に配置され、一方の前記電子伝導性層側から他方の前記電子伝導性層側に向かって、組成が相対的に前記一方の電子伝導性層の組成から前記他方の電子伝導性層の組成へと近づくように変化する組成傾斜層と

を有し、

前記組成傾斜層は、ドーピングされたn型不純物を含む、半導体素子。

[請求項2]

請求項1に記載の半導体素子であって、

前記2以上の電子伝導性層は、

AlGaInを含む第1層と、

GaNを含む第2層と、

InGaInを含む第3層と

を含み、

前記組成傾斜層は、

前記第1層と前記第2層との間に配置され、前記第1層から前記第2層に向かってAlの組成が減少する、前記ドーピングされたn型不純物を含む第1組成傾斜層と、

前記第2層と前記第3層との間に配置され、前記第2層から前記第3層に向かってInの組成が増加する、前記ドーピングされたn型不純物を含む第2組成傾斜層と、

の少なくとも一方を含む、

半導体素子。

[請求項3]

請求項2に記載の半導体素子であって、

前記第1組成傾斜層と前記第2組成傾斜層の少なくとも一方の前記

n型不純物のドーピング濃度は $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、  
半導体素子。

[請求項4]

請求項2に記載の半導体素子であって、

前記第1組成傾斜層と前記第2組成傾斜層の少なくとも一方の厚みは50nm以上であり、前記n型不純物のドーピング濃度は $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、  
半導体素子。

[請求項5]

請求項3に記載の半導体素子であって、

前記第1組成傾斜層の厚みをd、前記n型不純物のドーピング濃度をcとしたとき、dおよびcが下記式(1)または(2)を満たす、  
半導体素子。

$$\text{式(1)} : d \geq a_1 \cdot c + b_1 \quad (5.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 6.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}), \quad a_1 = -1.73 \times 10^{-15}, \quad b_1 = 1122.7$$

$$\text{式(2)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (6.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 2.03 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}), \quad a_2 = -3.4 \times 10^{-17}, \quad b_2 = 69.1$$

[請求項6]

請求項3に記載の半導体素子であって、

前記第1組成傾斜層の厚みをd、前記n型不純物のドーピング濃度をcとしたとき、dおよびcが下記式(3)～(5)のいずれかを満たす、

半導体素子。

$$\text{式(3)} : d \geq a_1 \cdot c + b_1 \quad (7.25 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}), \quad a_1 = -2.08 \times 10^{-15}, \quad b_1 = 1608.7$$

$$\text{式(4)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1.03 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}), \quad a_2 = -1.51 \times 10^{-16}, \quad b_2 = 161.2$$

$$\text{式(5)} : d \geq a_2 \cdot c + b_2 \quad (1.03 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq$$

1.  $65 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -1.04 \times 10^{-18}$ 、 $b = 17.2$

[請求項7]

請求項3に記載の半導体素子であって、

前記第2組成傾斜層の厚みを $d$ 、前記 $n$ 型不純物のドーピング濃度を $c$ としたとき、 $d$ および $c$ が下記式(6)～(9)のいずれかを満たす、

半導体素子。

式(6)： $d \geq a_1 \cdot c + b_1$  ( $6.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 7.27 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -4.8 \times 10^{-16}$ 、 $b = 388.2$

式(7)： $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $7.27 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 8.86 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -1.23 \times 10^{-16}$ 、 $b = 128.2$

式(8)： $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $8.86 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -1.58 \times 10^{-16}$ 、 $b = 159.4$

式(9)： $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1.25 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -6 \times 10^{-18}$ 、 $b = 7.5$

[請求項8]

請求項3に記載の半導体素子であって、

前記第2組成傾斜層の厚みを $d$ 、前記 $n$ 型不純物のドーピング濃度を $c$ としたとき、 $d$ および $c$ が下記式(10)～(12)のいずれかを満たす、

半導体素子。

式(10)： $d \geq a_1 \cdot c + b_1$  ( $7.25 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 9.38 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -3.78 \times 10^{-16}$ 、 $b = 374$

式(11)： $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $9.38 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -1.21 \times 10^{-16}$ 、 $b = 133$

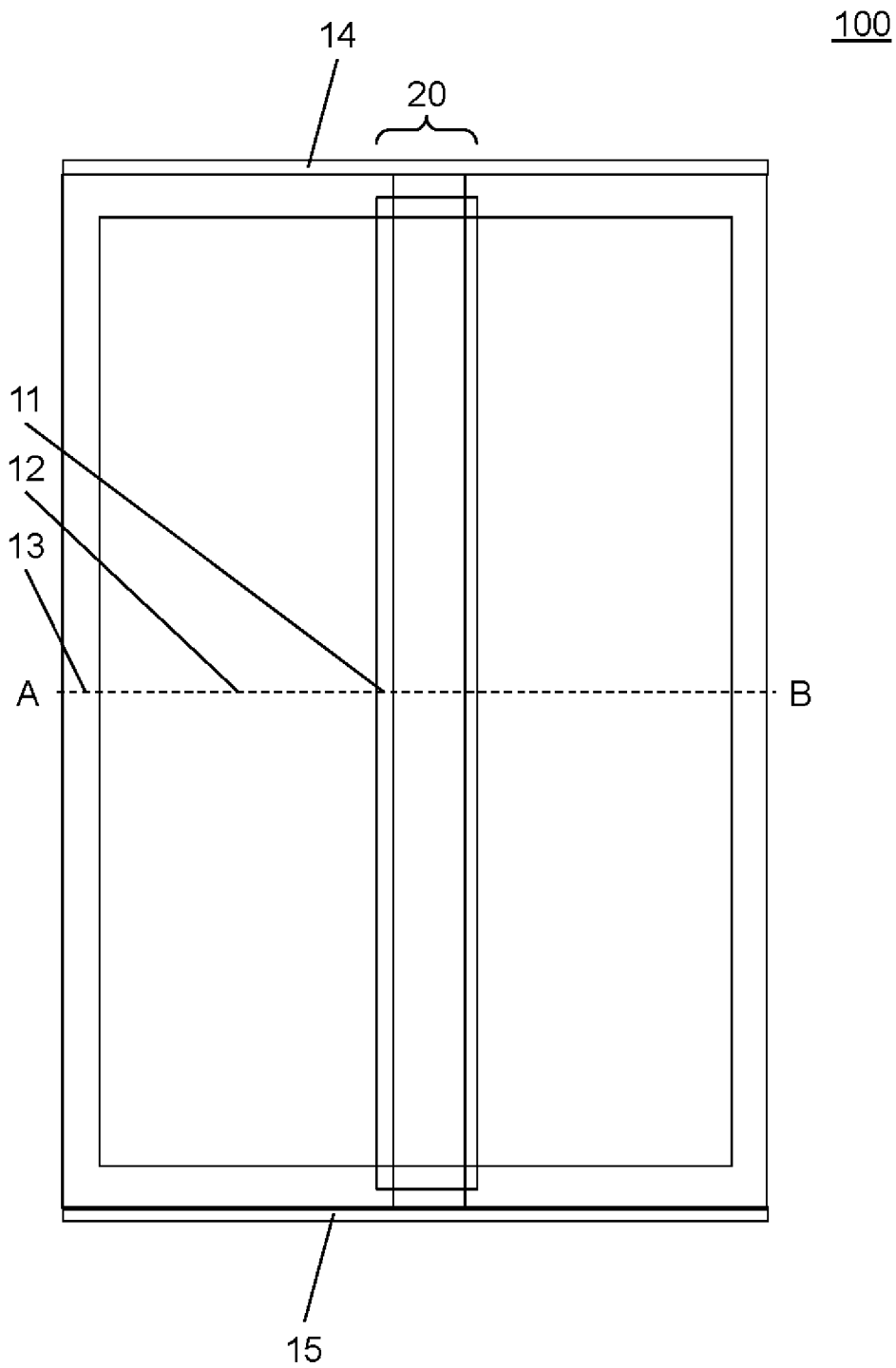
式(12)： $d \geq a_2 \cdot c + b_2$  ( $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \leq c \leq 2 \times$

$1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、 $a_1 = -6 \times 10^{-18}$ 、 $b = 1.8$

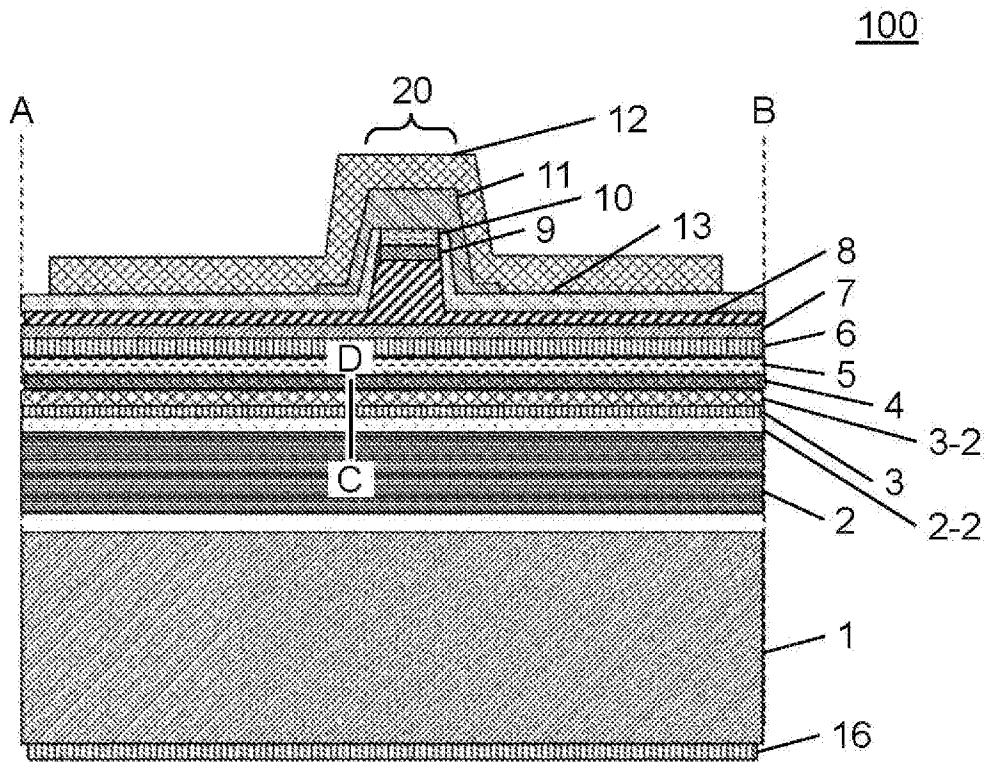
[請求項9]

請求項1～8のいずれか1項に記載の半導体素子であって、  
pn接合型半導体発光素子である、  
半導体素子。

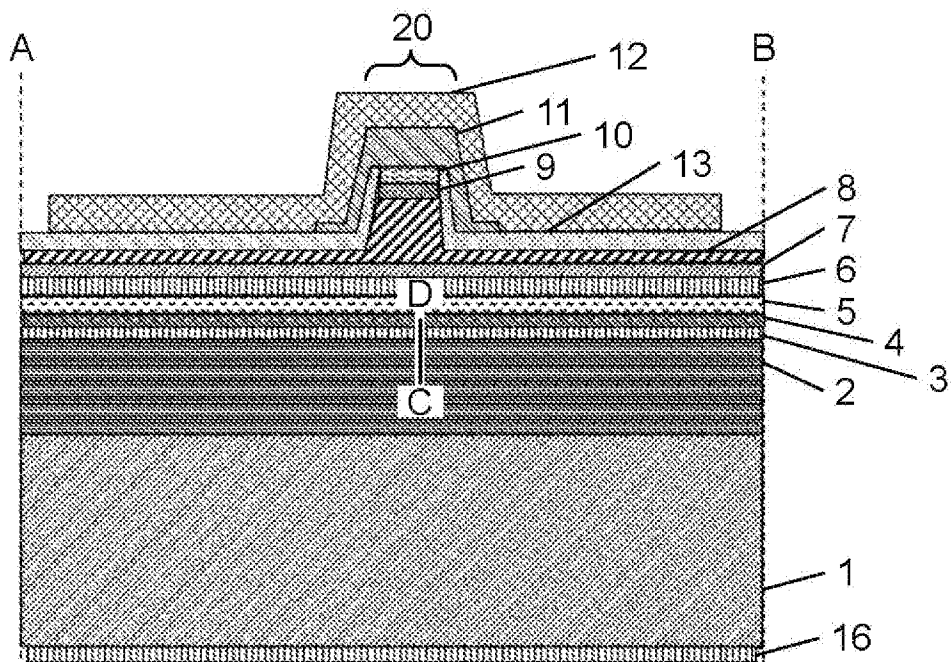
[図1]



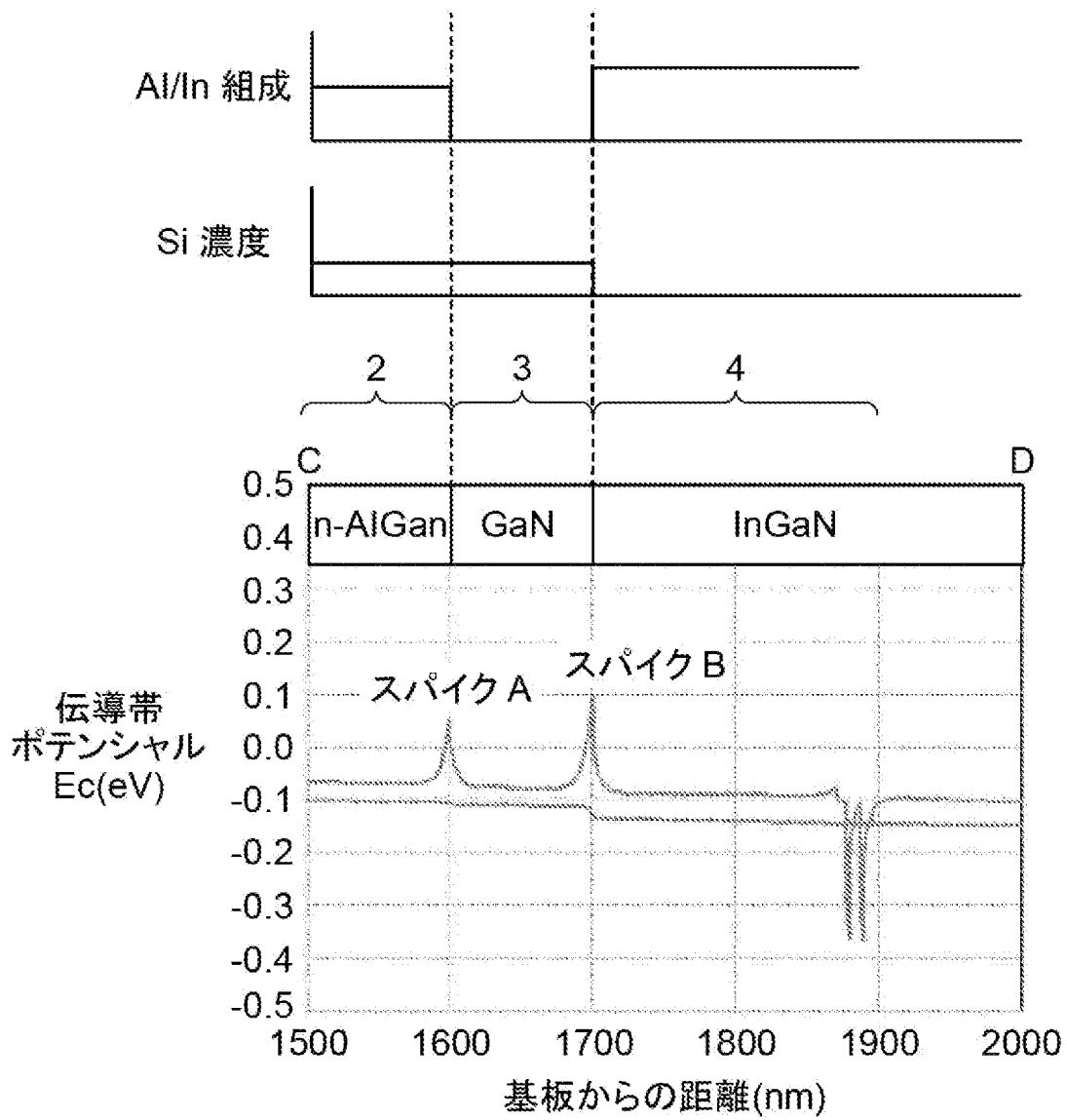
[図2]



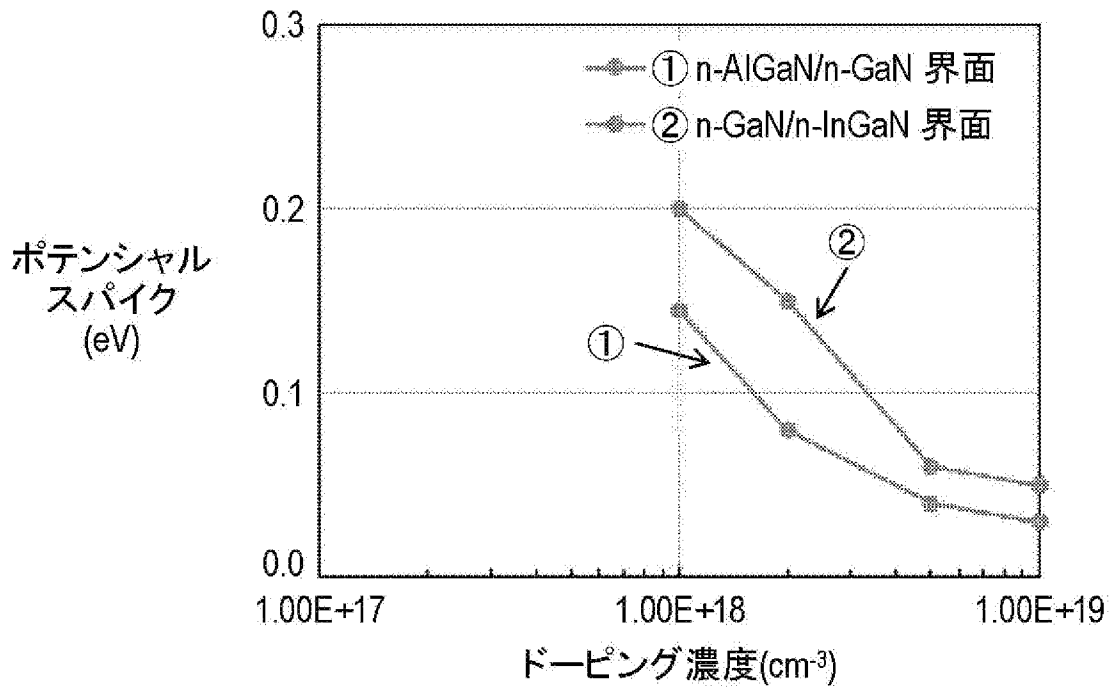
[図3]



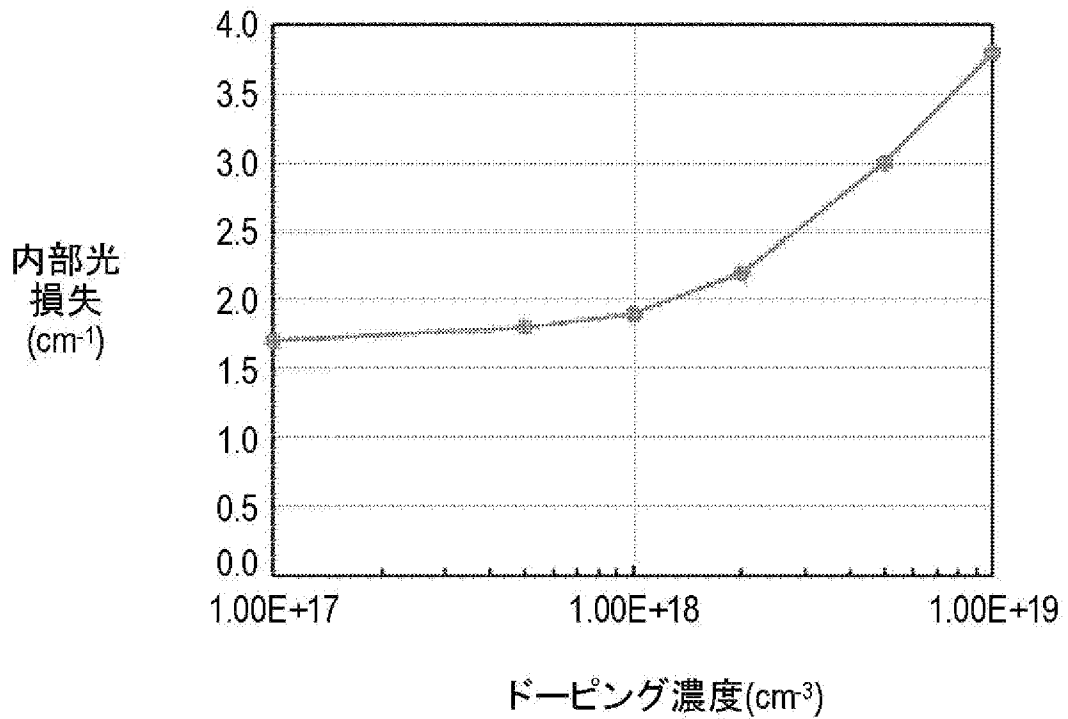
[図4]



[図5A]

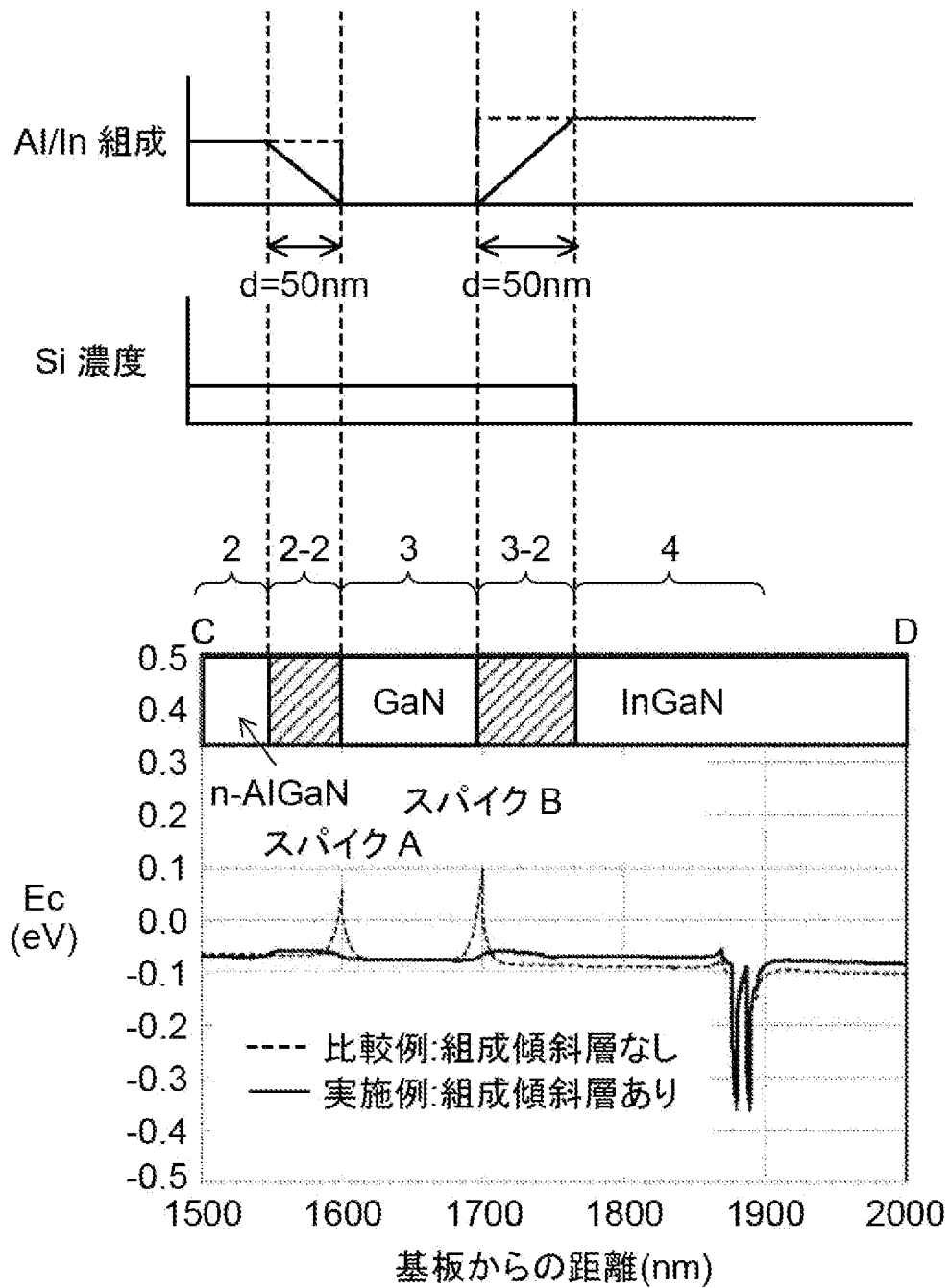


[図5B]

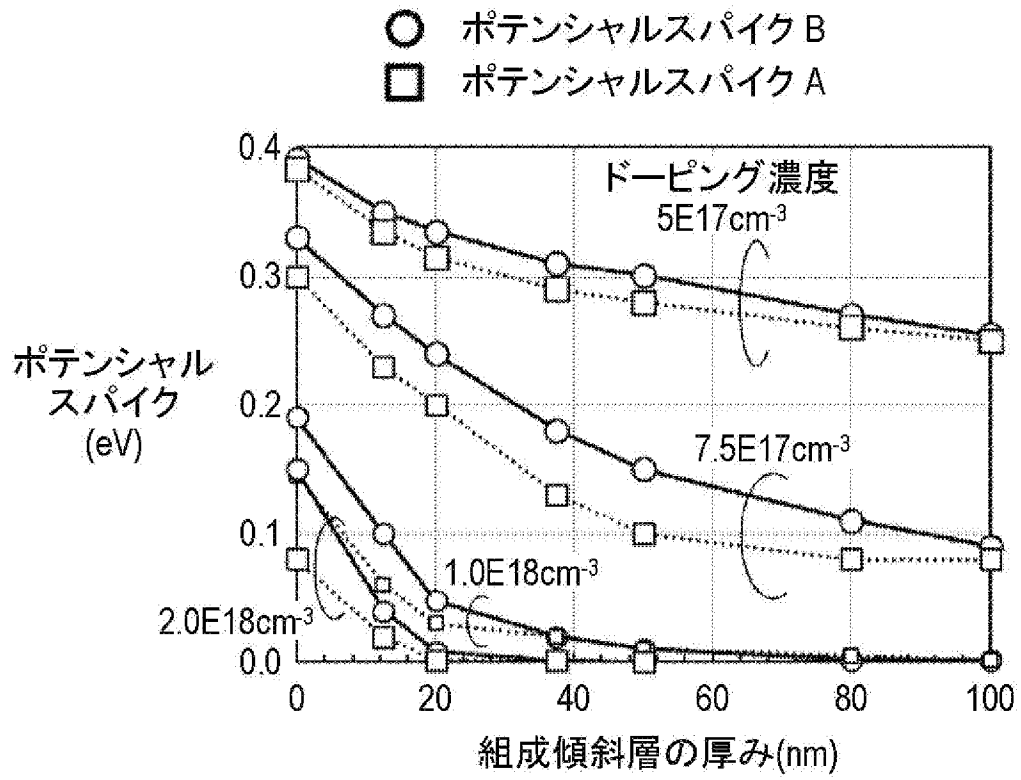




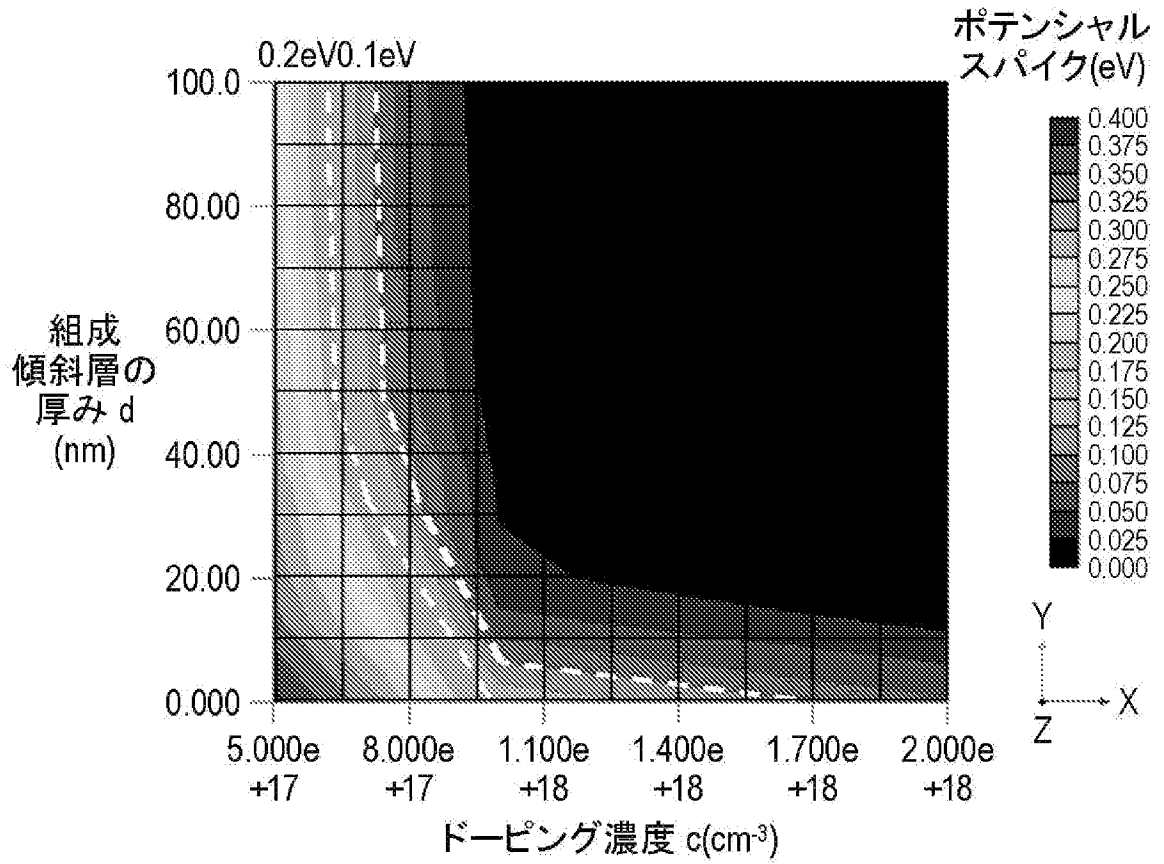
[図6]



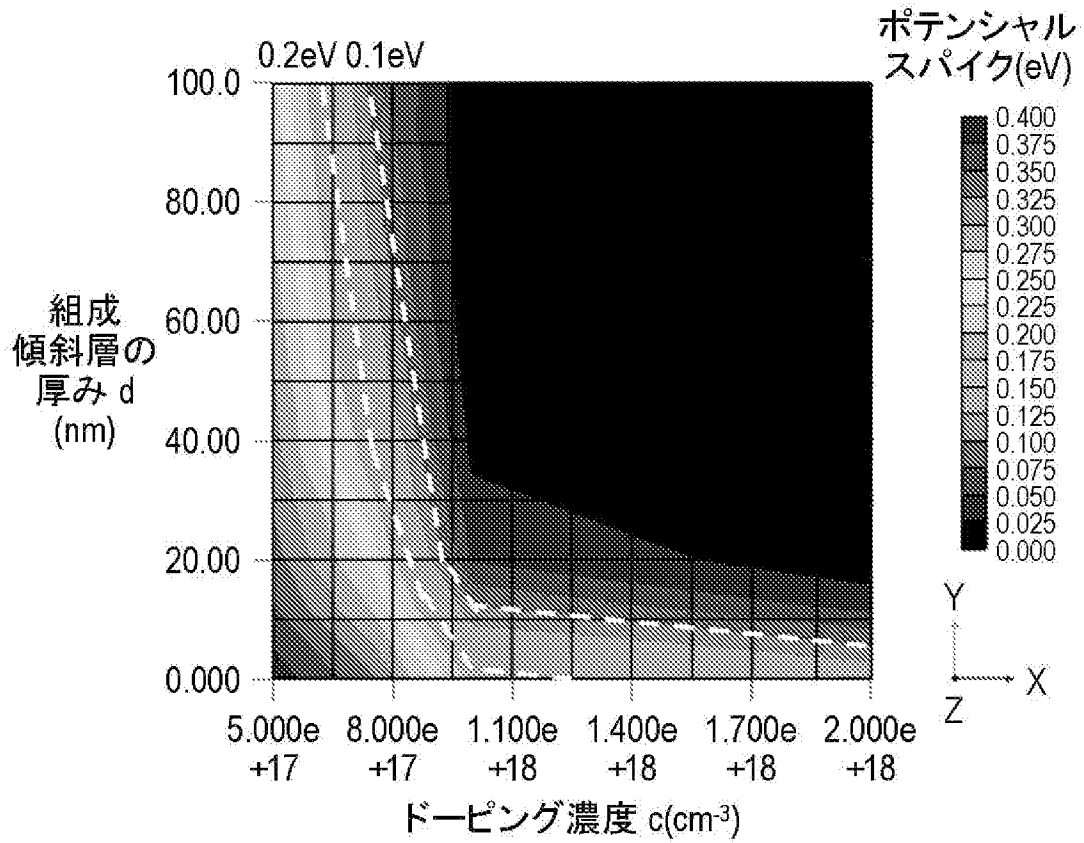
[図7]



[図8A]



[図8B]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/016127

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H01S 5/343</i> (2006.01)i; <i>H01L 33/32</i> (2010.01)i FI: H01S5/343 610; H01L33/32		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01S5/00-5/50; H01L33/00-33/64		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2012-146847 A (SHARP CORPORATION) 02 August 2012 (2012-08-02) paragraphs [0116]-[0118], [0168]-[0177], fig. 8, 14, 16	1, 9
Y		2-8
Y	JP 2012-84836 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LIMITED) 26 April 2012 (2012-04-26) paragraphs [0061], [0083]-[0098], fig. 2(C), 7	2-8
X	JP 2002-217495 A (RICOH COMPANY, LIMITED) 02 August 2002 (2002-08-02) paragraphs [0049]-[0060], fig. 5, 6	1, 9
A		2-8
A	JP 2009-71277 A (CREE INCORPORATED) 02 April 2009 (2009-04-02) entire text, all drawings	1-9
A	US 5670798 A (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY) 23 September 1997 (1997-09-23) entire text, all drawings	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>16 June 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>27 June 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2023/016127</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2012-146847 A	02 August 2012	(Family: none)	
JP 2012-84836 A	26 April 2012	(Family: none)	
JP 2002-217495 A	02 August 2002	(Family: none)	
JP 2009-71277 A	02 April 2009	US 2009/0072254 A1 entire text, all drawings	
		EP 2037509 A1	
US 5670798 A	23 September 1997	WO 96/30945 A2 entire text, all drawings	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 5/343(2006.01)i; H01L 33/32(2010.01)i FI: H01S5/343 610; H01L33/32		
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）） H01S5/00-5/50; 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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	JP 2012-146847 A (シャープ株式会社) 02.08.2012 (2012-08-02) [0116]-[0118], [0168]-[0177], 図8, 14, 16	1, 9
Y		2-8
Y	JP 2012-84836 A (住友電気工業株式会社) 26.04.2012 (2012-04-26) [0061], [0083]-[0098], 図2(C), 7	2-8
X	JP 2002-217495 A (株式会社リコー) 02.08.2002 (2002-08-02) [0049]-[0060], 図5-6	1, 9
A		2-8
A	JP 2009-71277 A (クリー インコーポレイテッド) 02.04.2009 (2009-04-02) 全文全図	1-9
A	US 5670798 A (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY) 23.09.1997 (1997-09-23) 全文全図	1-9
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日	
16.06.2023	27.06.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  右田 昌士 2K 9513  電話番号 03-3581-1101 内線 3255	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/016127

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2012-146847 A	02.08.2012	(ファミリーなし)	
JP 2012-84836 A	26.04.2012	(ファミリーなし)	
JP 2002-217495 A	02.08.2002	(ファミリーなし)	
JP 2009-71277 A	02.04.2009	US 2009/0072254 A1 全文全図	
		EP 2037509 A1	
US 5670798 A	23.09.1997	WO 96/30945 A2 全文全図	