

(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
2020年10月8日(08.10.2020)



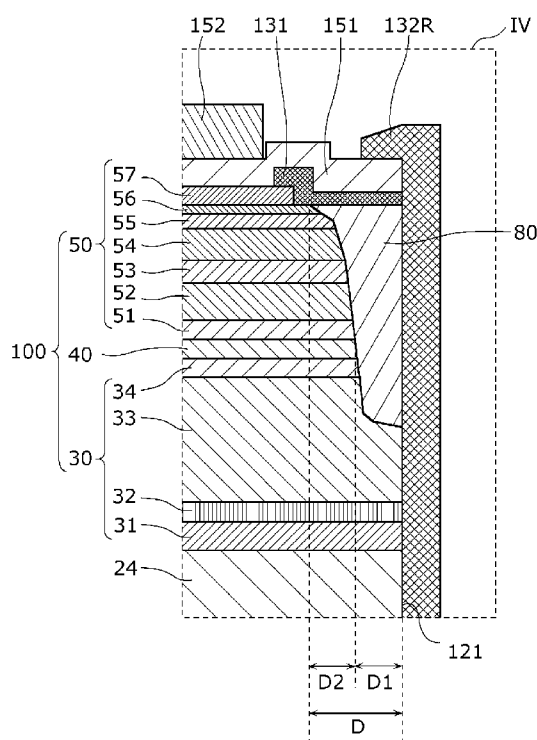
(10) 国際公開番号

WO 2020/204053 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/014960
- (22) 国際出願日: 2020年3月31日(31.03.2020)
- (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:
62/828,156 2019年4月2日(02.04.2019) US
- (71) 出願人: パナソニックセミコンダクターソリューションズ株式会社 (PANASONIC SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178520 京都府長岡京市神足焼町1番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 山田 和弥 (YAMADA, Kazuya). 中谷 東吾 (NAKATANI, Tougo). 永井 洋希 (NAGAI, Hiroki). 畑 雅幸 (HATA, Masayuki).
- (74) 代理人: 新居 広守, 外 (NII, Hiromori et al.); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目3番10号タナカ・イトーピア新大阪ビル6階新居国際特許事務所内 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体レーザ素子



(57) Abstract: This semiconductor laser device (14) comprises: a first conductivity-type cladding layer (33); a first guide layer (34) disposed on the first conductivity-type cladding layer (33); an active layer (40) disposed on the first guide layer (34); and a second conductivity-type cladding layer disposed on the active layer, wherein a window region (80) is formed in a region including at least one among a front end surface and a rear end surface of the active layer (40). The first conductivity-type cladding layer (33) is made of $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
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,
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, 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)）

when an Al composition ratio is x, the first guide layer (34) is made of $(Al_xGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ when an Al composition ratio is y, the second conductivity-type cladding layer is made of $(Al_zGa_{1-z})_{0.5}In_{0.5}P$ when an Al composition ratio is z, and the relationship $0 < x - y < z - y$ is established. When the length of a resonator is referred to as L and the length of the window region (80) in a first direction is referred to as D, the relationship $D/L > 0.03$ is established.

(57) 要約：半導体レーザ素子（14）は、第1導電型クラッド層（33）と、第1導電型クラッド層（33）の上方に配置された第1ガイド層（34）と、第1ガイド層（34）の上方に配置された活性層（40）と、活性層（40）の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、活性層（40）のフロント側の端面及びリア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域（80）が形成されており、第1導電型クラッド層（33）は、Al組成比xの $(Al_xGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、第1ガイド層（34）は、Al組成比yの $(Al_yGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、第2導電型クラッド層は、Al組成比zの $(Al_zGa_{1-z})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、 $0 < x - y < z - y$ の関係が成り立ち、共振器の長さをLとし、第1の方向における窓領域（80）の長さをDとすると、 $D/L > 0.03$ の関係が成り立つ。

明 細 書

発明の名称：半導体レーザ素子

技術分野

[0001] 本開示は、半導体レーザ素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、小型かつ高出力の光源として半導体レーザ素子が知られている。このような半導体レーザ素子の信頼性を確保するために、光出射端面付近に不純物拡散によりエネルギーバンドギャップが増大した窓領域を形成する技術が知られている（例えば、特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2019／026953号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に開示された半導体レーザ素子においては、p型クラッド層とn型クラッド層との屈折率の関係から、光強度分布をn型クラッド層の方へ偏らせることで、導波路損失の低減を図っている。しかしながら、特許文献1に開示された半導体レーザ素子においては、垂直拡がり角（半導体層の積層方向におけるレーザ光の拡がり角）の変化量に影響する高次モードの導波路損失も低減されるため、高次モードが混ざり合うことで垂直拡がり角の変化量が大きくなってしまいう問題がある。

[0005] 本開示は、このような課題を解決するためになされたものであり、窓構造を有する半導体レーザ素子であって、垂直拡がり角特性の安定化を実現する半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するために、本開示に係る半導体レーザ素子の一態様は、フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が

共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域が形成されており、前記第1導電型クラッド層は、AⅠ組成比 x の $(AⅠ_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、前記第1ガイド層は、AⅠ組成比 y の $(AⅠ_yGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、前記第2導電型クラッド層は、AⅠ組成比 z の $(AⅠ_zGa_{1-z})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、 $0 < x - y < z - y$ の関係が成り立ち、前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記窓領域の長さを D とすると、 $D/L > 0.03$ の関係が成り立つ。

[0007] また本開示に係る半導体レーザ素子の一態様は、フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域が形成されており、前記第1導電型クラッド層は、AⅠ組成比 x の $(AⅠ_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、前記第1ガイド層は、AⅠ組成比 y の $(AⅠ_yGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、前記第2導電型クラッド層は、AⅠ組成比 z の $(AⅠ_zGa_{1-z})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、 $0 < x - y < z - y$ の関係が成り立ち、前記活性層に形成された前記窓領域は、前記窓領域以外における前記活性層のエネルギーバンドギャップより30meV以上大きいエネルギーバンドギャップを有する安定窓領域を有し、前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記安定窓領域の長さを $D1$ とすると、 $D1/L > 0.01$ の関係が成り立つ。

[0008] また本開示に係る半導体レーザ素子の一態様は、フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域が形成されており、前記第1ガイド層の屈折率は前記第1導電型クラッド層の屈折率より大きく、かつ、前記第1ガイド層の屈折率と前記第1導電型クラッド層の屈折率との差は、前記第1導電型クラッド層の屈折率と前記第2導電型クラッド層の屈折率との差より小さく、前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記窓領域の長さを D とすると、 $D/L > 0.03$ の関係が成り立つ。

[0009] また本開示に係る半導体レーザ素子の一態様は、フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域が形成されており、前記第1ガイド層の屈折率は前記第1導電型クラッド層の屈折率より大きく、かつ、前記第1ガイド層の屈折率と前記第1導電型クラッド層の屈折率との差は、前記第1導電型クラッド層の屈折率と前記第2導電型クラッド層の屈折率との差より小さく、前記活性層に形成された前記窓領域は、前記窓領域以外における前記活性層のエネルギーバンドギャップより 30 meV 以上大きいエネルギーバンドギャップを有する安定窓領域を有し、前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記安定窓領域の長さを D_1 とすると、 $D_1/L > 0.01$ の関係が成り立つ。

発明の効果

[0010] 本開示によれば、窓構造を有する半導体レーザ素子であって、垂直拡がり角特性の光出力依存性が安定した半導体レーザ素子を提供できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の外観を模式的に示す斜視図である。

[図2]図2は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の構成を模式的に示す第1の断面図である。

[図3]図3は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の構成を模式的に示す第2の断面図である。

[図4]図4は、図3の一部拡大図である。

[図5]図5は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の半導体層形成工程の概要を示す基板の模式的な断面図である。

[図6]図6は、実施の形態1に係る窓領域の形成方法を示す基板及び半導体層の模式的な断面図である。

[図7]図7は、実施の形態1に係る導波路形成工程の概要を示す基板及び半導体層の模式的な断面図である。

[図8]図8は、実施の形態1に係る第1の保護膜形成工程の概要を示す基板及び半導体層の模式的な断面図である。

[図9]図9は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。

[図10]図10は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の積層方向に対する屈折率分布を示す図である。

[図11]図11は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の積層方向に対する屈折率分布と光強度分布を示す図である。

[図12A]図12Aは、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の基本モードに対するn型クラッド層の膜厚と導波路損失の関係を示す図である。

[図12B]図12Bは、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の高次モードに対

する n 型クラッド層の膜厚と導波路損失の関係を示す図である。

[図12C]図 1 2 C は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子の n 型クラッド層の膜厚と高次モードに対する基本モードの導波路損失の比の関係を示す図である。

[図13A]図 1 3 A は、比較例の半導体レーザ素子の水平拡がり角特性の光出力依存性を示す図である。

[図13B]図 1 3 B は、比較例の半導体レーザ素子の垂直拡がり角特性の光出力依存性を示す図である。

[図14A]図 1 4 A は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子の水平拡がり角特性の光出力依存性を示す図である。

[図14B]図 1 4 B は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子の垂直拡がり角特性の光出力依存性を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本開示の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、いずれも本開示の一具体例を示すものである。したがって、以下の実施の形態で示される、数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、並びに、ステップ（工程）及びステップの順序などは、一例であって本開示を限定する主旨ではない。

[0013] また、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、各図において縮尺などは必ずしも一致していない。各図において、実質的に同一の構成に対しては同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化する。

[0014] また、本明細書において、「上方」及び「下方」という用語は、絶対的な空間認識における上方向（鉛直上方）及び下方向（鉛直下方）を指すものではなく、積層構成における積層順を基に相対的な位置関係により規定される用語として用いる。また、「上方」及び「下方」という用語は、2つの構成要素が互いに間隔をあけて配置されて2つの構成要素の間に別の構成要素が存在する場合のみならず、2つの構成要素が互いに接する状態で配置される

場合にも適用される。

[0015] (実施の形態 1)

[1-1. 全体構成]

まず、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子の全体構成について図 1 ～図 4 を用いて説明する。図 1 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 の外観を模式的に示す斜視図である。図 2 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 の構成を模式的に示す第 1 の断面図である。図 2 には、図 1 の I-I 断面の導波路 WG 付近の拡大図が示される。図 3 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 の構成を模式的に示す第 2 の断面図である。図 3 には、図 1 の I-I-I-I 断面が示される。図 4 は、図 3 の一部拡大図である。図 4 には、図 3 の破線枠 IV 部分の拡大図が示される。

[0016] 図 2 に示されるように、半導体レーザ素子 14 は、フロント側の端面及びリア側の端面との間で第 1 の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する素子である。本実施の形態では、半導体レーザ素子 14 は、基板 24 と、基板 24 の第 1 の面 P1 上に配置された、半導体層 100 とを備える。半導体レーザ素子 14 は、第 1 の保護膜 131 をさらに備える。

[0017] 基板 24 は、半導体レーザ素子 14 の半導体層 100 が積層される第 1 導電型半導体基板である。本実施の形態では、基板 24 は、GaAs を含む n 型半導体基板であり、より詳しくは、面方位が (100) 面から (011) 面方向に向かって 10 度傾斜している n-GaAs 基板である。第 1 の面 P1 の面方位は、(011) 面方向に向かって 10 度傾斜した 10 度オフされた (100) 面である。

[0018] 半導体層 100 は、基板 24 側から順に積層された n 型層を含む第 1 半導体層 30、活性層 40、及び、p 型層を含む第 2 半導体層 50 を有する。本実施の形態では、半導体層 100 は、主に、基板 24 の上方に配置された第 1 導電型クラッド層である n 型クラッド層 33 と、n 型クラッド層 33 の上方に配置された第 1 ガイド層である n 側光ガイド層 34 と、n 側光ガイド層 34 の上方に配置された活性層 40 と、活性層 40 の上方に配置された第 2

光ガイド層であるp側光ガイド層51と、p側光ガイド層51の上方に配置された第2導電型クラッド層とを有する。本実施の形態では、第2導電型クラッド層は、活性層40側から順に配置された下層であるp型第1クラッド層52、及び、上層であるp型第2クラッド層53及びp型第3クラッド層54を含む。以下、第2導電型クラッド層をp型クラッド層とも称する。

[0019] 図3に示されるように、半導体レーザ素子14は、半導体層100上に配置されたp側下部電極151及びp側上部電極152と、基板24の半導体層100が配置されていない側の面に配置されたn側電極160とを備える。

[0020] また、半導体レーザ素子14の半導体層100は、半導体層100の層内方向に形成された導波路WGを有する。つまり、導波路WGは、半導体層100の主面に平行な方向（つまり、基板24の第1の面P1に平行な方向）に沿って形成される。本実施の形態では、半導体層100には、リッジ構造を用いた導波路WGが形成されている。導波路WGは、図1に示されるように、第1の方向に延びる。

[0021] また、本実施の形態では、導波路WGの幅は、例えば、 $2.5\mu\text{m}$ 以上 $3.5\mu\text{m}$ 以下程度である。導波路WGの幅が広すぎると横モードが安定せず、キンク（つまり、半導体レーザ素子14の供給電流の微小な変動に対して光出力が大幅に変動すること）が発生しやすくなる。一方、導波路WGの幅が狭すぎると動作電圧が増大してしまい、発熱の影響で光出力が低下してしまう。

[0022] また、図3に示されるように、半導体レーザ素子14の第1の方向の両端面は、劈開端面121である。二つの劈開端面121は、半導体レーザ素子14の共振器面として機能する。つまり、二つの劈開端面121のうち、一方がフロント側の端面（つまり、レーザ光の主たる出射面である端面）として機能し、他方がリア側の端面（つまり、フロント側の端面よりレーザ光の出射量が少ない端面）として機能する。二つの劈開端面121には、反射率制御膜として機能する第2の保護膜132F及び132Rが形成されている。

。第2の保護膜132F及び132Rは、それぞれ共振器のフロント側及びリア側の反射率制御膜として機能するだけでなく、劈開端面121を保護する機能も有する。

[0023] また、図3及び図4に示されるように、半導体層100は、導波路WGの両端に形成された窓領域80を有する。本実施の形態では、共振器面として機能する二つの劈開端面121の各々の近傍に、活性層40における光吸収が抑制される窓領域80が形成されている。

[0024] また、本実施の形態では、共振器の長さ（つまり、二つの劈開端面121間の距離）Lは、 $300\mu\text{m}$ 以下程度である。なお、共振器の長さLの範囲は、 $200\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

[0025] 以下、半導体レーザ素子14の各構成要素について説明する。

[0026] 基板24には、半導体層100が積層される。基板24の構成は、特に限定されない。本実施の形態では、上述のとおり基板24は、 $n\text{-GaAs}$ 基板である。また、基板24のn型の不純物濃度は、後述するn型クラッド層33のn型の不純物濃度より高い。

[0027] 第1半導体層30は、第1導電型層を含む半導体層である。第1半導体層30の構成は、特に限定されない。本実施の形態では、図2に示されるように、第1半導体層30は、n型バッファ層31と、n型グレーディッドバッファ層32と、n型クラッド層33と、n側光ガイド層34とを含む。

[0028] n型バッファ層31は、膜厚 $0.4\mu\text{m}$ の $n\text{-GaAs}$ 層である。

[0029] n型グレーディッドバッファ層32は、膜厚 $0.075\mu\text{m}$ の $\text{Al}_q\text{Ga}_{1-q}\text{As}$ 層であり、Al組成比が積層方向において徐々に変化する。具体的には、n型バッファ層31との境界面からn型クラッド層33との境界面にかけて、 $q=0.05$ から $q=0.35$ までn型グレーディッドバッファ層32のAl組成比が徐々に変化する。これにより、基板24とn型クラッド層33との間に生じるスパイク状のヘテロ障壁を平滑化できる。

[0030] n型クラッド層33は、Al組成比xの $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる。本実施の形態では、n型クラッド層33は、膜厚 $3.2\mu\text{m}$ のn-

($\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

[0031] n側光ガイド層34は、Al組成比yの($\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる。本実施の形態では、n側光ガイド層34は、膜厚0.05 μm の($\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

[0032] 活性層40は、半導体レーザ素子14の発光部を形成する層である。活性層40のフロント側の端面及びリア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域80が形成されている。本実施の形態では、活性層40のフロント側の端面及びリア側の端面の各々を含む領域に窓領域80が形成されている。活性層40の構成は、特に限定されない。本実施の形態では、活性層40は、井戸層と障壁層とを有し、量子井戸構造を有する。量子井戸構造は、後述するp側光ガイド層51とn側光ガイド層34とに挟まれ、GaAsを含む1以上の井戸層と、AlGaAsを含む複数の障壁層とで形成される。活性層40は、例えば、n側光ガイド層34側より、膜厚0.02 μm の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 障壁層41と、膜厚0.0065 μm のGaAs井戸層42と、膜厚0.004 μm の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 障壁層43と、膜厚0.0065 μm のGaAs井戸層44と、膜厚0.021 μm の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 障壁層45とを含む多重量子井戸活性層である（後述する図9参照）。なお、活性層40は、GaAs井戸層以外の井戸層を含んでもよい。

[0033] 第2半導体層50は、第1導電型層と異なる導電型の第2導電型層を含む半導体層である。第2半導体層50の構成は、特に限定されない。本実施の形態では、図2に示されるように、第2半導体層50は、p側光ガイド層51と、p型第1クラッド層52と、p型第2クラッド層53と、p型第3クラッド層54と、p型中間層55と、p型グレーディッド中間層56、p型コンタクト層57とを含む。

[0034] p側光ガイド層51は、p型クラッド層と活性層40との間に配置される第2ガイド層である。本実施の形態では、p側光ガイド層51は、膜厚0.13 μm の($\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

[0035] p型第1クラッド層52は、膜厚0.17 μm のp- ($\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}$

) $_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ 層である。p 型第 2 クラッド層 53 は、膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ の $\text{p-}(\text{Al}_{0.60}\text{Ga}_{0.40})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。p 型第 3 クラッド層 54 は、膜厚 $0.6 \mu\text{m}$ の $\text{p-}(\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。なお、p 型第 1 クラッド層 52、p 型第 2 クラッド層 53 及び p 型第 3 クラッド層 54 は、それぞれ本実施の形態に係る第 2 導電型クラッド層（以下、p 型クラッド層とも称する）に含まれる層の一例である。

[0036] p 型中間層 55 は、膜厚 $0.106 \mu\text{m}$ の $\text{p-}(\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。p 型中間層 55 の Al 組成比は、p 型第 3 クラッド層 54 よりも低い。p 型グレーディッド中間層 56 は、膜厚 $0.05 \mu\text{m}$ の $\text{p-Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ 層であり、Al 組成比が積層方向において徐々に変化する。具体的には、p 型中間層 55 との境界面から p 型コンタクト層 57 との境界面にかけて、 $r = 0.55$ から $r = 0.05$ まで p 型グレーディッド中間層 56 の Al 組成比が徐々に変化する。p 型コンタクト層 57 は、膜厚 $0.23 \mu\text{m}$ の p-GaAs 層である。これにより、p 型中間層 55 と p 型コンタクト層 57 との間に生じるスパイク状のヘテロ障壁を平滑化できる。

[0037] 本実施の形態では、p 型クラッド層（つまり、p 型第 1 クラッド層 52、p 型第 2 クラッド層 53、及び p 型第 3 クラッド層 54）は、上方の端面である上面 50t と、上面 50t から上方に突出し、第 1 の方向に延びるリッジ部 50r とを有する。リッジ部 50r は、第 2 半導体層 50 の上面から二つの溝 TR を形成することによって形成される。つまり、二つの溝 TR の間にリッジ部 50r が形成される。溝 TR の底面が上面 50t である。

[0038] 上面 50t において、p 型クラッド層の下層である p 型第 1 クラッド層 52 は、上層である p 型第 2 クラッド層 53 及び p 型第 3 クラッド層 54 から露出する。

[0039] なお、上述した n 型クラッド層 33 及び p 型クラッド層を含むクラッド層とは、半導体層 100 の積層方向（つまり、基板 24 の主面の法線方向）に光を閉じ込める機能を有する層であり、積層方向に閉じ込められる光に対する半導体レーザ素子 14 の実効屈折率より低い屈折率を有し、かつ、0.1

μm より厚い膜厚を有する層である。なお、上述したn型バッファ層31、n型グレーディッドバッファ層32及びn型クラッド層33にドーピングされる材料（つまり、n型の不純物）は、特に限定されず、Si、Se、Teなどを用いることができる。本実施の形態では、Siが用いられる。p型第1クラッド層52、p型第2クラッド層53、p型第3クラッド層54、p型中間層55、p型グレーディッド中間層56及びp型コンタクト層57にドーピングされる材料（つまり、p型の不純物）は、特に限定されず、Zn、Mg、Cを用いることができる。本実施の形態では、Znが用いられる。また、p型コンタクト層57においてのみCが用いられてもよい。半導体レーザー素子14の共振器の長さLが短い場合には、動作電圧が増加するため、より高い不純物濃度でドーピング可能なCを利用してもよい。これにより、動作電圧を低減できる。

[0040] 第1の保護膜131は、上面50tに配置された誘電体膜である。第1の保護膜131は、図2に示されるように導波路WGを形成するリッジ部50rの上部の一部及び側面、溝TR、両脇の平坦部とに形成される。リッジ部50rの上部において、第1の保護膜131はリッジ部50rを露出する開口部を有しており、図4に示されるように、窓領域80を含む劈開端面121付近は第1の保護膜131に覆われている。第1の保護膜131は、誘電体膜であれば、特に限定されず、SiN、SiO₂、TiO₂、ZrO₂、Al₂O₃、Nb₂O₅、Ta₂O₅などを用いることができる。本実施の形態では、第1の保護膜131は、膜厚約180nmのSiN膜である。この場合、上面50tにおいて露出している下層であるp型第1クラッド層52の屈折率より、第1の保護膜131の屈折率の方が低い。これにより、レーザ光を下層に閉じ込めることができる。

[0041] 図2～図4に示されるp側下部電極151は、パターニングされた金属膜であり、本実施の形態では、半導体層100側から順に積層された膜厚約50nmのTi膜、膜厚約150nmのPt膜、及び、膜厚約50nmのAu膜を含む。p側下部電極151は、第1の保護膜131の開口部内でp型コ

ンタクト層 57 と接続される。

[0042] 図 3 に示される p 側上部電極 152 は、本実施の形態では、 $2.0\mu\text{m}$ 以上 $5.0\mu\text{m}$ 以下の膜厚の Au 膜である。

[0043] 図 3 に示される n 側電極 160 は、本実施の形態では、基板 24 側から順に積層された膜厚 90nm の AuGe 膜、膜厚 20nm の Ni 膜、膜厚 50nm の Au 膜、膜厚 100nm の Ti 膜、膜厚 50nm の Pt 膜、膜厚 50nm の Ti 膜、膜厚 100nm の Pt 膜、及び、膜厚 500nm の Au 膜を含む。

[0044] 本実施の形態では、フロント側の劈開端面 121 に用いられる第 2 の保護膜 132F は、劈開端面 121 側から、膜厚 50nm の Al_2O_3 膜及び膜厚 55nm の Ta_2O_5 膜の組み合わせを 1 回又は複数回積層した誘電体多層膜である。また、リア側の劈開端面 121 に用いられる第 2 の保護膜 132R は、劈開端面 121 側から、膜厚 $\lambda/8n_A$ の Al_2O_3 膜、膜厚 $\lambda/8n_S$ の SiO_2 膜、膜厚 $\lambda/4n_T$ の Ta_2O_5 膜を順次積層した後、さらに、膜厚 $\lambda/4n_S$ の SiO_2 膜と膜厚 $\lambda/4n_T$ の Ta_2O_5 膜との組み合わせを複数回積層した誘電体多層膜である。なお、 λ は、半導体レーザ素子 14 の発振波長を示し、 n_A 、 n_T 、 n_S はそれぞれ、 Al_2O_3 膜、 Ta_2O_5 膜、 SiO_2 膜の波長 λ の光に対する屈折率を示す。本実施の形態では、 λ は、約 860nm であり、劈開端面 121 側から膜厚 65nm の Al_2O_3 膜、膜厚 74nm の SiO_2 膜、膜厚 102nm の Ta_2O_5 膜を順次積層した後、さらに、膜厚 147nm の SiO_2 膜と膜厚 102nm の Ta_2O_5 膜との組み合わせを複数回積層している。

[0045] 窓領域 80 は、Zn などの窓領域形成用不純物の拡散によって形成される。窓領域 80 は、窓領域形成用不純物を半導体レーザ素子 14 の劈開端面 121 近傍の半導体層 100 に拡散させることにより、活性層 40 のエネルギーバンドギャップを拡大させた領域である。

[0046] 窓領域 80 は、活性層 40 の量子井戸構造が無秩序化されたことにより形成されている。つまり、量子井戸構造のうち、劈開端面 121 近傍の一部は

無秩序化された領域である。量子井戸構造が無秩序化された窓領域の例として、窓領域以外の活性層40が、組成が $A_{1-h_1}Ga_{(1-h_1-i_1)}In_{i_1}As$ である井戸層と組成が $A_{1-j_1}Ga_{(1-i_1-k_1)}In_{k_1}As$ である障壁層とからなり、窓領域の活性層40が、組成が $A_{1-h_2}Ga_{(1-h_2-i_2)}In_{i_2}As$ である井戸層と組成が $A_{1-j_2}Ga_{(1-j_2-k_2)}In_{k_2}As$ である障壁層とからなる場合、窓領域以外における井戸層と障壁層との組成比差 j_1-h_1 及び i_1-k_1 より、窓領域における井戸層と障壁層との組成比差 j_2-h_2 及び i_2-k_2 の方が小さい。すなわち $j_1-h_1 > j_2-h_2$ 又は $i_1-k_1 > i_2-k_2$ の関係が成り立つ。あるいは、量子井戸構造が無秩序化された窓領域の他の例として、窓領域の組成が、窓領域以外の井戸層と障壁層の平均組成となっている場合であってもよい。

- [0047] 本実施の形態では、共振器のフロント側及びリア側で、窓領域80の長さ（窓領域80の第1の方向における長さ）が異なる。例えば、フロント側の窓領域の長さDは $10\mu m$ 以上 $20\mu m$ 以下であり、リア側の窓領域の長さは $7\mu m$ 以上 $17\mu m$ 以下である。このように、光密度の高いフロント側の方が窓領域の長さが大きい。これにより、半導体レーザ素子14の端面破壊を低減できる。窓領域の長さDは、第1の方向における劈開端面121から Zn が拡散した領域端部までの距離である。なお、共振器の長さLに対するフロント側の窓領域の長さDの比 D/L は、0.03より大きい。なお、比 D/L は、0.1より小さくてもよい。なお、活性層40に形成された窓領域80（つまり、活性層40と同一層内における窓領域80）は、活性層40のエネルギーバンドギャップより $30meV$ 以上大きいエネルギーバンドギャップを有する安定窓領域と、エネルギーバンドギャップが連続的に変化する遷移領域とを有する。劈開端面121側から、第1の方向に沿って安定窓領域及び遷移領域が順に配置される。安定窓領域の長さD1は、第1の方向における、劈開端面121から、安定窓領域の端部までの距離であり、おおよそ、活性層40と同一層内において Zn が拡散した領域の長さに等しい。遷移領域の長さD2は、第1の方向における安定窓領域と遷移領域との境

界から Z_n が拡散した領域端部までの距離である。なお、フロント側の安定窓領域の長さ D_1 の遷移領域の長さ D_2 に対する比 D_1/D_2 は、 3.0 より小さい。なお、比 D_1/D_2 は、 1.0 より大きくてもよい。また、共振器の長さ L に対するフロント側の安定窓領域の長さ D_1 の比 D_1/L は、 0.01 より大きい。なお、比 D_1/L は、 0.08 より小さくてもよい。本実施の形態では、フロント側の安定窓領域の長さ D_1 は $10\mu\text{m}$ であり、遷移領域の長さ D_2 は $5\mu\text{m}$ であり、リア側の安定窓領域の長さ D_1 は $7\mu\text{m}$ であり、遷移領域の長さ D_2 は $5\mu\text{m}$ である。

[0048] 不純物拡散により形成する窓構造において、不純物拡散は等方的に進行するため、不純物拡散領域を $10\mu\text{m}$ 以下の狭小領域に収めようとする（つまり、窓領域の長さ D を $10\mu\text{m}$ 以下に収めようとする）、エネルギーバンドギャップを十分に拡大できず、端面劣化の抑制効果が得られない。このため、半導体レーザ素子の駆動中に端面の劣化が進行してしまうという問題がある。

[0049] 以上のように、本実施の形態では、半導体レーザ素子 14 は、半導体層 100 が積層され、GaAsを含む基板を備える。また、半導体層 100 は、基板 24 上に順次形成された n 型AlGaInPを含む n 型クラッド層 33 と、 n 側光ガイド層 34 と、量子井戸構造を有する活性層 40 と、 p 側光ガイド層 51 と、 p 型AlGaInPを含む p 型クラッド層とを有する。窓領域 80 は、活性層 40 の量子井戸構造の一部が無秩序化された領域を含む。

[0050] [1-2. 半導体レーザ素子の製造方法]

次に、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の製造方法について説明する。本実施の形態では、半導体レーザ素子の一例として上述した半導体レーザ素子の製造方法の各工程について説明する。

[0051] [1-2-1. 半導体層形成工程]

本実施の形態に係る半導体レーザ素子の製造方法について説明する。本実施の形態では、半導体レーザ素子の一例として上述した半導体レーザ素子の製造方法の各工程について説明する。

[0052] 本実施の形態に係る半導体層形成工程について図5を用いて説明する。図5は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の半導体層形成工程の概要を示す基板24の模式的な断面図である。後述する劈開工程までは、ウエハ基板上に複数の半導体レーザ素子の各要素を形成することになるが、個片化前のウエハ基板には個片化後の基板24と同じ符号を付して説明する。

[0053] 図5に示されるように、まず、第1の面P1及び第2の面P2を有する基板24を用意し、基板24の第1の面P1に、活性層40を含む半導体層100を形成する。半導体層100を構成する各層は、例えば、有機金属気相成長(MOCVD)法によって積層される。本実施の形態では、半導体層100として、基板24側から順に、第1導電型層を含む第1半導体層30、活性層40、及び、第2導電型層を含む第2半導体層50が形成される。

[0054] 続いて、本実施の形態では、半導体レーザ素子の共振器面近傍の領域にいわゆる窓領域を形成する。以下、窓領域の形成方法について、図6を用いて説明する。図6は、本実施の形態に係る窓領域80の形成方法を示す基板24及び半導体層100の模式的な断面図である。図6には、基板24及び半導体層100の第1の方向及び積層方向に沿った断面が示されている。

[0055] 例えば、図6に示されるように、第2半導体層50に含まれるp型コンタクト層上にZnを熱拡散させることによって窓領域80を形成してもよい。具体的には、p型コンタクト層57の上方に、拡散源となるZnO膜、及び、Znが蒸発するのを抑制するSiN膜やSiO膜を順次形成し、熱処理によりZnを半導体層100の共振器面近傍に拡散させることにより、活性層40のエネルギーバンドギャップを拡大させる。これにより、活性層40における光吸収が抑制される窓領域80を形成できる。このような窓領域80を形成することで、半導体レーザ素子14の共振器面近傍における劣化を抑制できる。

[0056] [1-2-2. 導波路形成工程]

次に、導波路形成工程について図7を用いて説明する。図7は、本実施の形態に係る導波路形成工程の概要を示す基板24及び半導体層100の模式

的な断面図である。図7には、基板24及び半導体層100の第1の方向に垂直な断面が示されている。

[0057] 図7に示されるように、基板24に形成された第2半導体層50に、図7の紙面に垂直な方向に延びる複数対の溝TRを形成することにより、一对の溝TRの間に形成されたリッジ部50r（図2参照）を用いた導波路WGを形成する。このように、半導体層100には、第1の方向に延びる複数の導波路WGが形成される。溝TRの幅は、例えば、 $13\mu\text{m}$ 程度であり、導波路WGの幅（つまり、リッジ部50rの幅）は、例えば、 $3\mu\text{m}$ 程度である。この構造においてp型コンタクト層57から注入された電流はリッジ部50rにのみ流れ、活性層40のうちリッジ部50rの下方に位置する部分に集中して電流注入され、レーザ発振に必要な反転分布が少ない注入電流により実現される。

[0058] 導波路WGの形成方法は、特に限定されない。本実施の形態では、リッジ部50rを形成するために、フォトリソグラフィ技術を用いて SiO_2 などでマスクを形成する。続いて、ドライエッチングなどの非選択的エッチングにより溝TRの形成、つまり、リッジ部50rの形成を行う。このとき、ドライエッチングは、p型コンタクト層57、p型グレーディッド中間層56、p型中間層55、p型第3クラッド層54、及びp型第2クラッド層53に対して行い、p型第2クラッド層53は完全に除去せずに途中まで除去する。

[0059] 次に、 SiO_2 などからなる保護膜をリッジ部50rが形成された半導体層100の上面全体に形成する。なお、この SiO_2 保護膜は導波路WG形成時にマスクとして使用される膜である。

[0060] 次に、ドライエッチングにより、溝TRの底部のみ SiO_2 保護膜を除去する。このとき、リッジ部50rの側壁及び上部は SiO_2 保護膜によって覆われている。

[0061] 続いて、ウェットエッチングなどの選択的エッチングにより、 SiO_2 保護膜に覆われていない溝TRの底部のみp型第2クラッド層53を完全に除去

する。これにより、溝TRの底部にはp型第1クラッド層52が露出することになる。その後、SiO₂保護膜はウェットエッチングなどで除去する。以上のように、半導体層100に導波路WGを形成することができる。

[0062] ここで、本実施の形態で採用し得る上記ドライエッチング技術は、異方性のプラズマエッチングであればよい。ドライエッチングとして、例えば、誘導結合型プラズマ(ICP)又はエレクトロン・サイクロトロン・レゾナンス(ECR)プラズマを用いた方法などが挙げられる。

[0063] また、エッチングガスとしては、SiCl₄とArとの混合ガスなどが用いられるが、SiCl₄の代わりに、塩素ガス、三塩化ホウ素ガスなどを用いてもよい。

[0064] 本実施の形態では、ドライエッチング技術はICP法で、エッチングガスとしてSiCl₄とArとの混合ガスを用いている。エッチング条件として、混合ガス中のSiCl₄の体積含有率は5%以上12%以下、半導体基板を設置する下部電極の温度は150℃以上200℃以下、チャンバー内圧力は0.1Pa以上1Pa以下、下部電極のバイアスパワーは50W以上150W以下、ICPパワーは200W以上300W以下とすることができるが、これに限るものではなく、適宜選定すればよい。

[0065] [1-2-3. 第1の保護膜形成工程]

次に、第1の保護膜形成工程について図8を用いて説明する。

[0066] 図8は、本実施の形態に係る第1の保護膜形成工程の概要を示す基板24及び半導体層100の模式的な断面図である。図8は、図7に示される破線枠V111内の領域における第1の保護膜形成工程を示す拡大図である。図8に示されるように、第1の保護膜131は、リッジ部50rの上部の一部以外の半導体層100に形成される。第1の保護膜131が形成されないリッジ部50rの上部の一部は後に形成されるp側下部電極151と接続される領域となる。

[0067] 第1の保護膜131の形成方法は、特に限定されない。本実施の形態では、リッジ部50rの上部の一部及び側面、溝TR、上面50t（つまり、リ

リッジ部50rの両脇の平坦部)に、SiNからなる第1の保護膜131を約180nm成膜する。

[0068] 第1の保護膜131は、p型クラッド層よりも屈折率が低いため、水平方向にレーザ光を閉じ込めることができる。また、第1の保護膜131は、レーザ光に対して透明であるため、光吸収を低減できる。したがって、低損失の導波路WGを実現できる。

[0069] [1-2-4. 電極形成工程]

次に、電極形成工程について説明する。本工程で形成される電極は、本実施の形態に係る製造方法によって製造される半導体レーザ素子に電力を供給するためのp側電極、及びn側電極である。

[0070] p側下部電極151は、リッジ部50rの上部、及び溝TRを含む半導体層100の上部に形成される。また、p側下部電極151の上にp側上部電極152が形成される。p側下部電極151は、リッジ部50r上に設けられた第1の保護膜131の開口部を介して第2半導体層50と接続される。

[0071] p側下部電極151及びp側上部電極152の構成及び形成方法は、特に限定されない。本実施の形態では、フォトリソグラフィーによりレジストでマスクし、ウェットエッチングによる前処理の後、蒸着法にてTi膜、Pt膜、及び、Au膜を順次成膜することでp側下部電極151を形成する。

[0072] 次に、フォトリソグラフィーによりp側上部電極152用のパターンをレジストマスクで形成し、電界めっき法により2.0μm以上5.0μm以下の膜厚のAu膜を成膜する。次にリフトオフ法によりレジストを除去することによって、パターンニングされたp側上部電極152を形成する。

[0073] 次に、基板24の第2の面P2からp側上部電極152までの厚みが約100μmになるまで基板24を研磨する。続いて、フォトリソグラフィーにより第2の面P2（つまり、基板24の研磨された面）にレジストマスクを形成し、ウェットエッチングによる前処理の後、蒸着法にて、AuGe膜、Ni膜、Au膜、Ti膜、Pt膜、Ti膜、Pt膜、及び、Au膜を順次成膜する。続いてリフトオフ法によりレジストを除去することによってパター

ニングされたn側電極160を形成する。

[0074] 以上の工程により、半導体層100、p側下部電極151、p側上部電極152、及びn側電極160が積層された基板24が形成される。

[0075] [1-2-5. 劈開工程]

次に、劈開工程について説明する。本工程では、上述した工程によって形成された半導体層100が積層された基板24を、半導体レーザ素子14の共振器面に相当する面で劈開する。つまり、図3に示されるように、窓領域80が共振器面に配置されるように、基板24を劈開する。これにより、半導体層100が形成されたウエハ基板から半導体層100が形成されたバー状の基板を形成できる。

[0076] [1-2-6. 第2の保護膜形成工程]

次に、第2の保護膜形成工程について説明する。本工程では、上記劈開工程において形成した劈開端面121に、ECR化学気相蒸着法などで、第2の保護膜132F及び132Rを形成する。なお第2の保護膜132F及び132Rの構成及び形成方法は、特に限定されない。

[0077] 第2の保護膜132F及び132Rにおけるレーザ光の反射率は、フロント側の第2の保護膜132Fで30%程度、リア側の第2の保護膜132Rで90%以上である。さらに、上記工程で形成されたバー状の基板をチップ状に分割することで、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14を形成できる。

[0078] [1-3. 半導体レーザ素子の作用及び効果]

次に、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の作用及び効果について図9～図14Bを用いて説明する。

[0079] 図9は本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の層構造を示す表である。図10は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の積層方向に対する屈折率分布を示す図である。図9に示されるように本実施の形態に係る半導体レーザ素子において、n型クラッド層33は $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、n側光ガイド層34は $(Al_yGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり

、p型クラッド層のAⅠ組成比 z が $(\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる
とき、 $0 < x - y < z - y$ の関係が成り立つ。これにより、半導体レーザ素
子14の積層方向に対する屈折率分布は図10に示されるようになる。すな
わち、n側光ガイド層34の屈折率(3.2476)はn型クラッド層33
の屈折率(3.2141)より大きく、かつ、n側光ガイド層34の屈折率
とn型クラッド層33の屈折率との差は、n型クラッド層33の屈折率とp
型クラッド層の屈折率(3.1416)との差より小さくなる。なお、ここ
で、p型クラッド層のAⅠ組成比及び屈折率は、それぞれ、p型第1クラ
ッド層52、p型第2クラッド層53、及びp型第3クラッド層54の平均A
Ⅰ組成比及び平均屈折率で定義できる。

[0080] 図11は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の積層方向に対する
屈折率分布と光強度分布の関係を示す図である。半導体層100各層のAⅠ
組成比の関係に対応する屈折率の関係から、光強度分布は活性層40より基
板24側に偏る。光強度分布には基本モードと高次モードとが含まれ、基本
モードより高次モードの方が光強度分布の寸法が大きい。また、基板24の
不純物濃度は、n型クラッド層33の不純物濃度より高いため、基板24に
おいて、n型クラッド層33より光の吸収が大きくなる。したがって、基板
24で基本モードより高次モードの方が導波路損失が大きくなる。この結果
、高次モードの発振を低減できる。このように、レーザ光の垂直拡がり角に
影響を与える高次モードの発振を低減できるため、垂直拡がり角の変動を抑
制できる。

[0081] さらに、p型第1クラッド層52のAⅠ組成比が $(\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$
からなり、 $x - y < w - x$ かつ $w < z$ の関係が成り立つ場合、n側光
ガイド層34の屈折率とn型クラッド層33の屈折率との差は、n型クラ
ッド層33の屈折率とp型第1クラッド層52の屈折率(3.1799)との
差より小さく、かつ、p型第1クラッド層52の屈折率は、p型クラッド層
の屈折率より大きい。これにより、光強度分布の中心を活性層40に寄せ、
光の閉じ込め率を上げることができるため、基本モード及び高次モードの導

波路損失の増大による動作電流の増加及び光出力の低下を抑制することができる。

[0082] 図12A～図12Cは、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14のn型クラッド層33の膜厚と導波路損失との関係を示す図である。図12A及び図12Bには、それぞれ、基本モード及び高次モードの導波路損失のシミュレーション結果が示されている。図12Cには、高次モードの導波路損失に対する基本モードの導波路損失の比のシミュレーション結果が示されている。本実施の形態に係る半導体レーザ素子14においては共振器の長さLが300 μ m以下であるため、高次モードをカットオフするためにリッジ幅（言い換えると、ストライプ幅）を縮小すると、動作電圧が上昇し発熱量が増大する。これにより光出力が低下するため、リッジ幅の縮小による高次モードの低減は困難である。図12A、及び図12Bに示すように、n型クラッド層33の膜厚を薄くすると基本モードも高次モードも導波路損失が増大するが、図12Cに示すように基本モードの高次モードに対する導波路損失の比はn型クラッド層33の膜厚が1.5 μ m以上4.0 μ m以下の範囲において、1未満になる。つまり、高次モードの方が基本モードより導波路損失が大きくなる。したがって、n型クラッド層33の膜厚を薄くすることで、高次モードの発振を低減し、垂直拡がり角の変動を抑制できる。

[0083] n型クラッド層33の膜厚を薄くしていくことで、光強度分布の基板24側への偏りが更に大きくなり、n型クラッド層33よりも高い不純物濃度を有する基板24での光の吸収が大きくなるため、導波路損失は大きくなる。光出力の低下を極力抑えたうえで、垂直拡がり角特性の安定化を図るため、n型クラッド層33の厚さは、p型クラッド層の厚さより厚く、4.0 μ m以下としてもよい。本実施の形態ではn型クラッド層33の膜厚は3.2 μ m、最大不純物濃度は $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、基板24の不純物濃度は、 $8.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲とした。また、第1の保護膜131は、p型第1クラッド層52及びp型第2クラッド層53よりも屈折率が低いため、p型第2クラッド層53からp型第1クラッド

層 5 2 が露出しているリッジ脇の溝 T R の部分においては、基板 2 4 側への光強度分布の拡がりがりッジ直下よりも大きくなり、リッジ部 5 0 r の直下における高次モードの導波路損失よりもリッジ脇における高次モードの導波路損失の方が増大される。この結果、高次モードの発振を低減し、垂直拡がり角の変動をさらに抑制できる。

[0084] また、障壁層の屈折率 (3.2107) より、n 型クラッド層 3 3 の屈折率 (3.2141) の方が大きい。この結果、光強度分布の基板 2 4 側への偏りがさらに大きくなり、高次モードの発振を低減し、垂直拡がり角の変動をさらに抑制できる。

[0085] なお、同じ GaAs で構成された活性層 4 0 内の井戸層では注入電流により反転分布が形成されており、吸収より誘導放出の方が優先される。

[0086] 図 1 3 A 及び図 1 3 B は、それぞれ、比較例の半導体レーザ素子の水平拡がり角特性及び垂直拡がり角特性の光出力依存性を示す図である。比較例の半導体レーザ素子は、n 型クラッド層の膜厚が $4.0\ \mu\text{m}$ より大きい点において、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 1 4 と相違し、その他の点において一致する。図 1 3 A 及び図 1 3 B に示されるように、比較例の半導体レーザ素子においては、水平拡がり角特性は単調増加傾向にあるが、垂直拡がり角特性は $20\ \text{mW}$ から $40\ \text{mW}$ までの間で減少し、その後増加する。また垂直拡がり角の変化量は 3.0° より大きい。

[0087] 図 1 4 A 及び図 1 4 B は、それぞれ、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 1 4 の水平拡がり角特性及び垂直拡がり角特性の光出力依存性を示す図である。本実施の形態に係る半導体レーザ素子 1 4 においては、水平拡がり角特性は、比較例と同じく単調増加の傾向を示している。また、レーザ光の出力が 1 から $65\ \text{mW}$ まで連続的に変化する間において、垂直拡がり角特性の変化量は、 1.0° 以下にまで抑制されている。

[0088] (実施の形態 2)

実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、n 型クラッド層 3 3 の構成において、実施の形態

1に係る半導体レーザ素子と相違する。以下、本実施の形態に係る半導体レーザ素子について実施の形態1に係る半導体レーザ素子14との相違点を中心に説明する。

[0089] 本開示に係る半導体レーザ素子において、n型クラッド層33のAⅠ組成比は、実施の形態1に係るn型クラッド層33のAⅠ組成比に限定されない。n型クラッド層33のAⅠ組成比を、変化させることで、垂直拡がり角の大きさを調整することが可能である。例えば、n型クラッド層33のAⅠ組成比を0.1以上0.2以下の範囲で変化させることができる。本実施の形態では、n型クラッド層33を、 $n-(\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層（屈折率3.2108）で構成した。

[0090] このような構成を有する半導体レーザ素子においても、実施の形態1に係る半導体レーザ素子14と同様の効果が得られる。

[0091] （変形例など）

以上、本開示に係る半導体レーザ素子について、各実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、上記各実施の形態に限定されるものではない。

[0092] 例えば、上記各実施の形態では、n型クラッド層33、n側光ガイド層34、p側光ガイド層51のそれぞれにおいて、AⅠ組成比及び屈折率は、実質的に一様であるが、一様でなくてもよい。例えば、上記各層は、組成が互いに異なる複数の層で構成されてもよい。この場合、上記各層のAⅠ組成比及び屈折率は、それぞれ、層内全体の平均AⅠ組成比及び平均屈折率で定義されてもよい。

[0093] また、上記各実施の形態では、p型クラッド層は、複数の層で構成されたが、p型クラッド層は、組成が一様な単一の層で構成されてもよい。

[0094] また、上記各実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で上記各実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本開示に含まれる。

産業上の利用可能性

[0095] 本開示に係る半導体レーザ素子は、垂直拡がり角特性の光出力による変動を抑制できるため、レーザ素子を光源とした光学系の設計を必要とする各種光源において特に利用可能である。

符号の説明

- [0096] 1 4 半導体レーザ素子
 2 4 基板
 3 0 第1半導体層
 3 1 n型バッファ層
 3 2 n型グレーデッドバッファ層
 3 3 n型クラッド層
 3 4 n側光ガイド層
 4 0 活性層
 4 1、4 3、4 5 障壁層
 4 2、4 4 井戸層
 5 0 第2半導体層
 5 0 r リッジ部
 5 0 t 上面
 5 1 p側光ガイド層
 5 2 p型第1クラッド層
 5 3 p型第2クラッド層
 5 4 p型第3クラッド層
 5 5 p型中間層
 5 6 p型グレーデッド中間層
 5 7 p型コンタクト層
 8 0 窓領域
 1 0 0 半導体層
 1 2 1 劈開端面
 1 3 1 第1の保護膜

1 3 2 F、1 3 2 R 第2の保護膜

1 5 1 p側下部電極

1 5 2 p側上部電極

1 6 0 n側電極

P 1 第1の面

P 2 第2の面

T R 溝

W G 導波路

請求の範囲

[請求項1] フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、

第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、

、

前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、

前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、

前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、

前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域が形成されており、

前記第1導電型クラッド層は、Al組成比xの $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

前記第1ガイド層は、Al組成比yの $(Al_yGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

前記第2導電型クラッド層は、Al組成比zの $(Al_zGa_{1-z})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

$0 < x - y < z - y$ の関係が成り立ち、

前記共振器の長さをLとし、前記第1の方向における前記窓領域の長さをDとすると、 $D/L > 0.03$ の関係が成り立つ半導体レーザ素子。

[請求項2] フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、

第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、

、

前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、

前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、

前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、

前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なく

とも一方を含む領域に窓領域が形成されており、

前記第1導電型クラッド層は、Al組成比 x の $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

前記第1ガイド層は、Al組成比 y の $(Al_yGa_{1-y})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

前記第2導電型クラッド層は、Al組成比 z の $(Al_zGa_{1-z})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

$0 < x - y < z - y$ の関係が成り立ち、

前記活性層に形成された前記窓領域は、前記窓領域以外における前記活性層のエネルギーバンドギャップより30meV以上大きいエネルギーバンドギャップを有する安定窓領域を有し、

前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記安定窓領域の長さを D_1 とすると、 $D_1/L > 0.01$ の関係が成り立つ

半導体レーザ素子。

[請求項3]

前記第2導電型クラッド層は、前記活性層側から順に配置された下層及び上層を含み、

前記下層は、Al組成比 w の $(Al_wGa_{1-w})_{0.5}In_{0.5}P$ からなり、

$x - y < w - x$ かつ $w < z$ の関係が成り立つ

請求項1又は2に記載の半導体レーザ素子。

[請求項4]

フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、

第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、

前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、

前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、

前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、

前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なく

とも一方を含む領域に窓領域が形成されており、

前記第1ガイド層の屈折率は前記第1導電型クラッド層の屈折率より大きく、かつ、前記第1ガイド層の屈折率と前記第1導電型クラッド層の屈折率との差は、前記第1導電型クラッド層の屈折率と前記第2導電型クラッド層の屈折率との差より小さく、

前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記窓領域の長さを D とすると、 $D/L > 0.03$ の関係が成り立つ

半導体レーザ素子。

[請求項5]

フロント側の端面及びリア側の端面との間で第1の方向においてレーザ光が共振する共振器を有する半導体レーザ素子であって、

第1導電型半導体基板の上方に配置された第1導電型クラッド層と、

前記第1導電型クラッド層の上方に配置された第1ガイド層と、

前記第1ガイド層の上方に配置された活性層と、

前記活性層の上方に配置された第2導電型クラッド層とを備え、

前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の少なくとも一方を含む領域に窓領域が形成されており、

前記第1ガイド層の屈折率は前記第1導電型クラッド層の屈折率より大きく、かつ、前記第1ガイド層の屈折率と前記第1導電型クラッド層の屈折率との差は、前記第1導電型クラッド層の屈折率と前記第2導電型クラッド層の屈折率との差より小さく、

前記活性層に形成された前記窓領域は、前記窓領域以外における前記活性層のエネルギーバンドギャップより 30 meV 以上大きいエネルギーバンドギャップを有する安定窓領域を有し、

前記共振器の長さを L とし、前記第1の方向における前記安定窓領域の長さを D_1 とすると、 $D_1/L > 0.01$ の関係が成り立つ

半導体レーザ素子。

[請求項6]

前記第2導電型クラッド層は、前記活性層側から順に配置された下

層及び上層を含み、

前記第1ガイド層の屈折率と前記第1導電型クラッド層の屈折率との差は、前記第1導電型クラッド層の屈折率と前記下層の屈折率との差より小さく、かつ、前記下層の屈折率は、前記第2導電型クラッド層の屈折率より大きい

請求項4又は5に記載の半導体レーザ素子。

[請求項7] 前記第2導電型クラッド層は、上方の端面である上面と、前記上面から上方に突出し、前記第1の方向に延びるリッジ部とを有する

請求項3又は6に記載の半導体レーザ素子。

[請求項8] 前記上面において、前記下層は前記上層から露出する

請求項7に記載の半導体レーザ素子。

[請求項9] 前記上面に配置された誘電体膜をさらに備え、
前記下層の屈折率より、前記誘電体膜の屈折率の方が低い

請求項8に記載の半導体レーザ素子。

[請求項10] 前記活性層は、井戸層と障壁層とを有し、
前記窓領域以外における前記井戸層と前記障壁層との組成比差より、
前記窓領域における前記井戸層と前記障壁層の組成比差の方が小さい

請求項1～9のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

[請求項11] 前記障壁層の屈折率より、前記第1導電型クラッド層の屈折率の方が大きい

請求項10に記載の半導体レーザ素子。

[請求項12] 前記活性層の前記フロント側の端面及び前記リア側の端面の他方を含む領域に前記窓領域が形成されている

請求項1～11のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

[請求項13] 前記フロント側の端面から前記レーザ光が出射され、
前記窓領域は、前記フロント側の端面を含む領域に形成され、
前記レーザ光の出力が1 mWから65 mWまで連続的に変化する間

において、前記活性層の積層方向における前記レーザ光の垂直拡がり角の変化量は、 1° 以下である

請求項 1 ～ 1 2 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

[請求項14] 前記第 1 導電型クラッド層の厚さは、前記第 2 導電型クラッド層の厚さより厚く、 $4.0\ \mu\text{m}$ 以下である

請求項 1 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

[請求項15] 前記共振器の長さは、 $300\ \mu\text{m}$ 以下である

請求項 1 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

[請求項16] 前記第 1 導電型半導体基板は、GaAs を含む

請求項 1 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

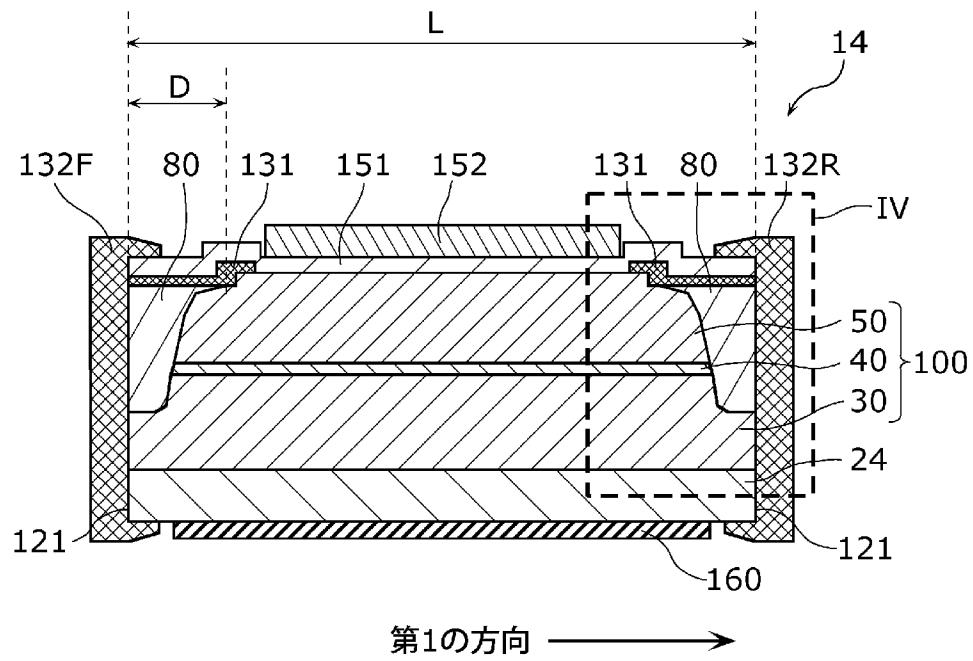
[請求項17] 前記第 1 導電型半導体基板の不純物濃度は、前記第 1 導電型クラッド層の不純物濃度より高い

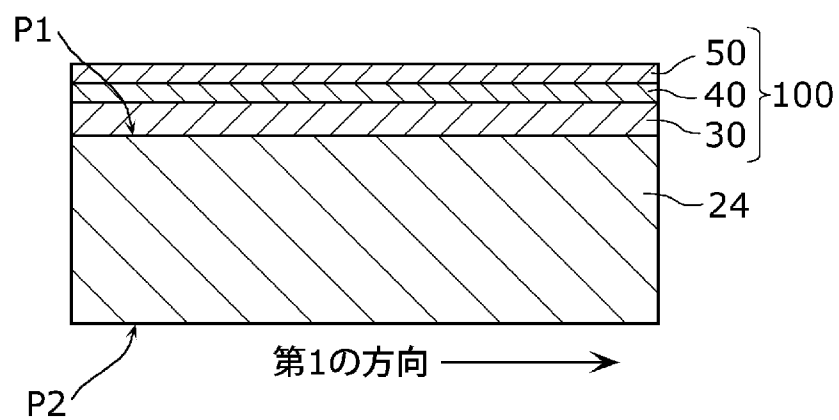
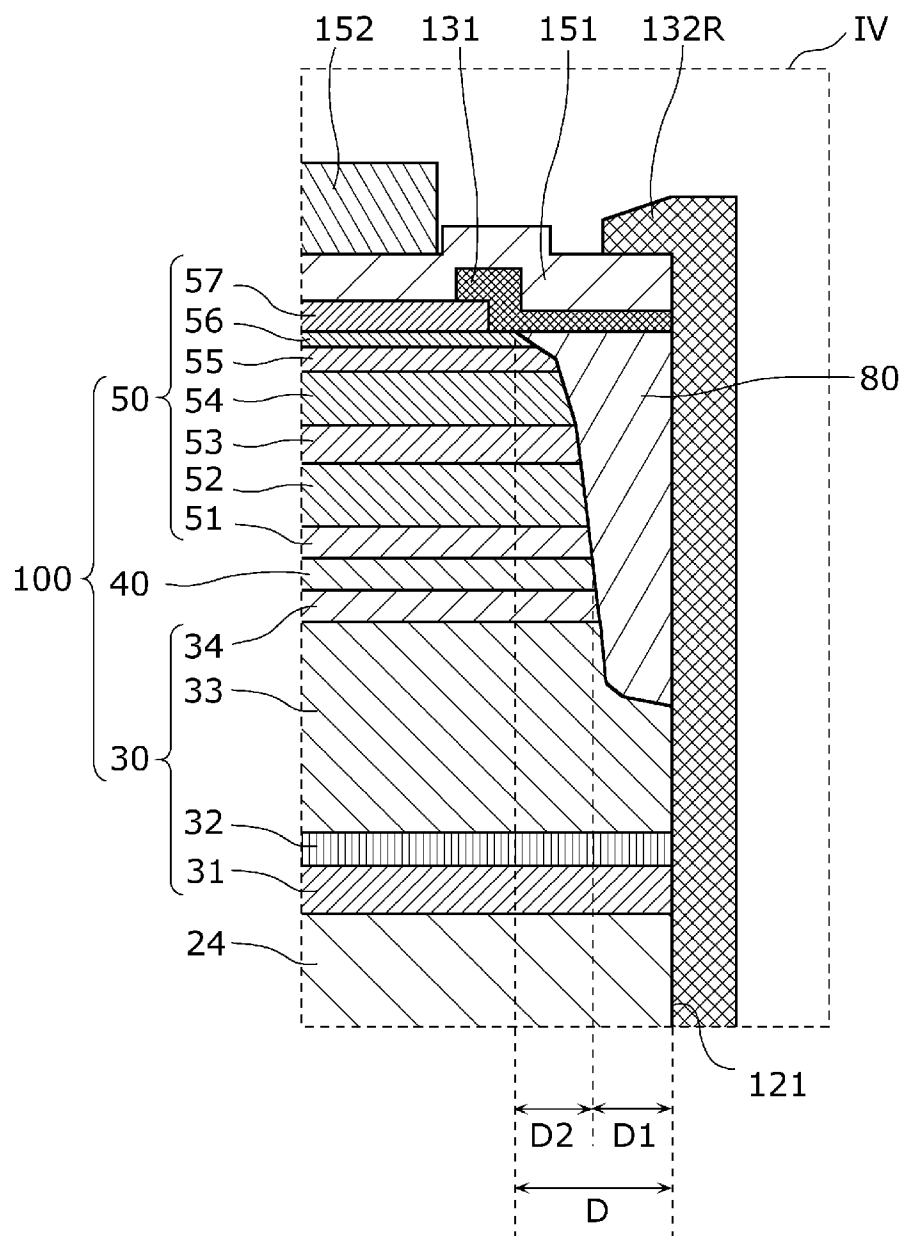
請求項 1 ～ 1 6 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

[請求項18] 前記第 2 導電型クラッド層と前記活性層との間に配置される第 2 ガイド層を備える

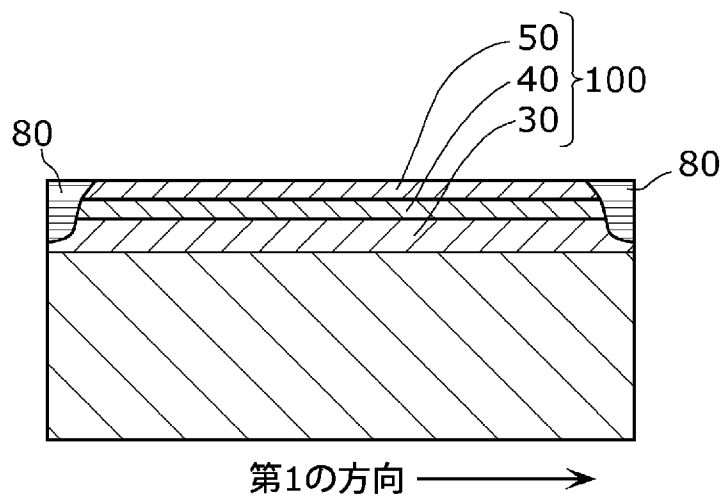
請求項 1 ～ 1 7 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

[図3]

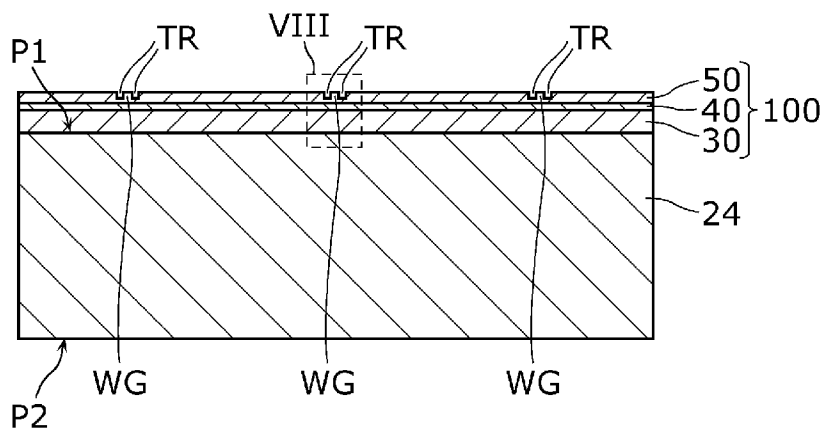




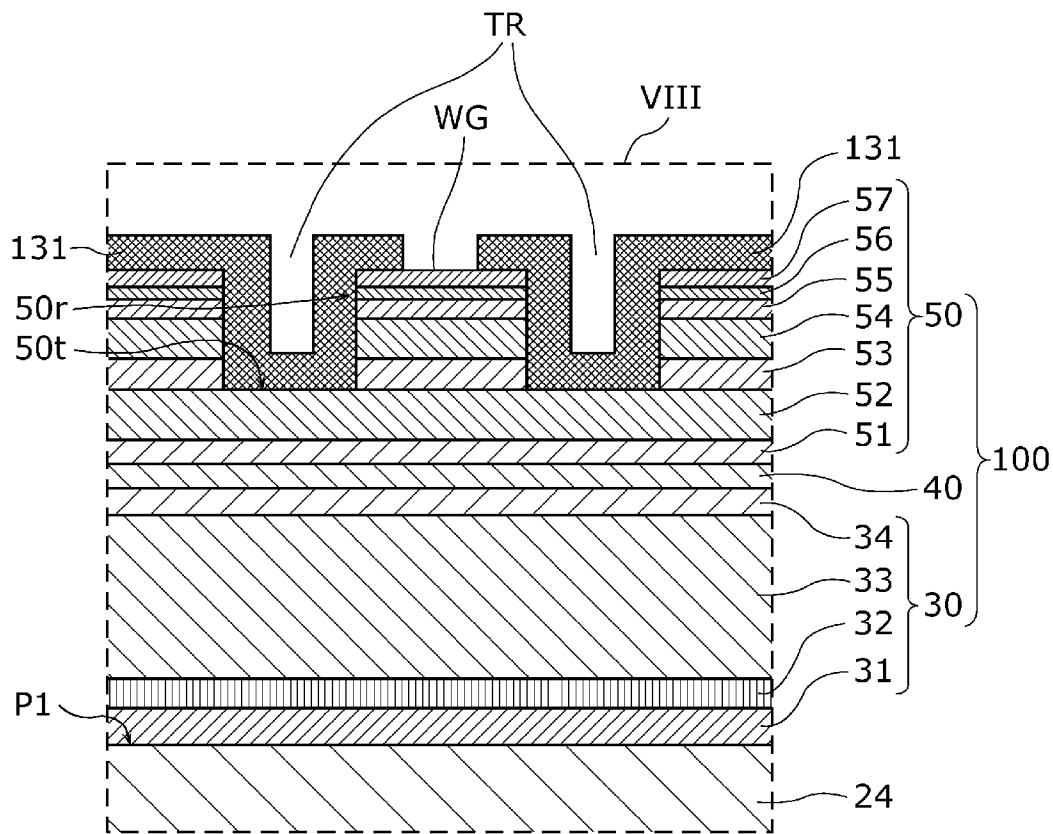
[図6]



[図7]



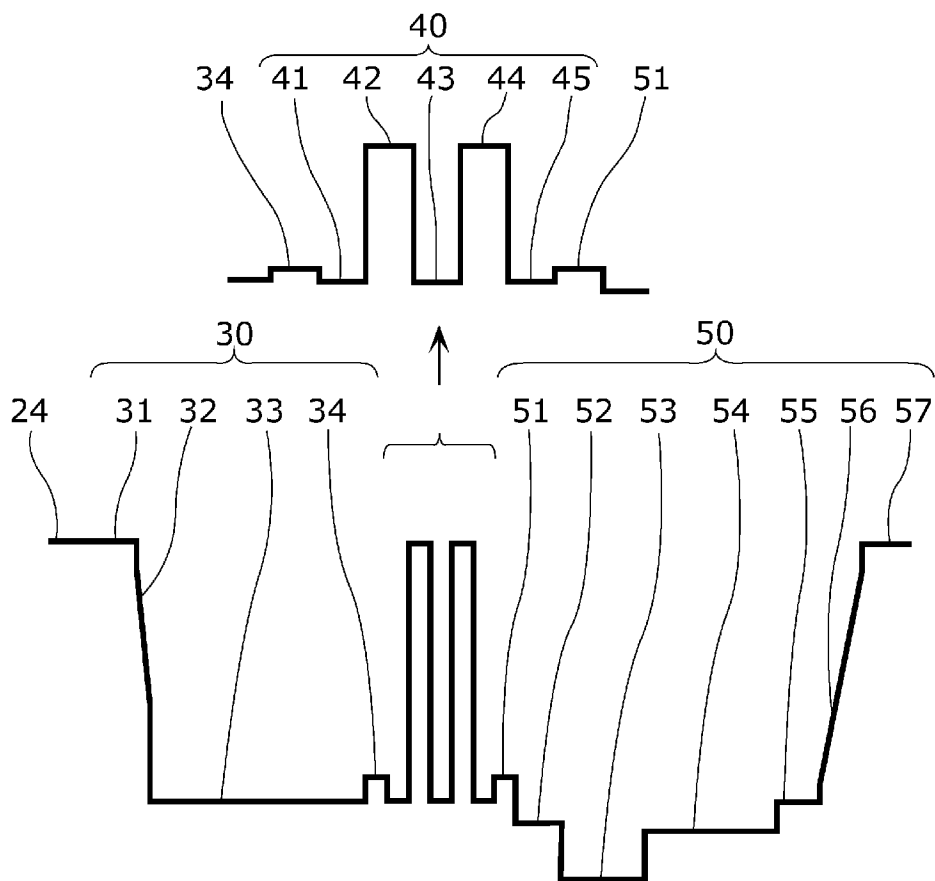
[図8]



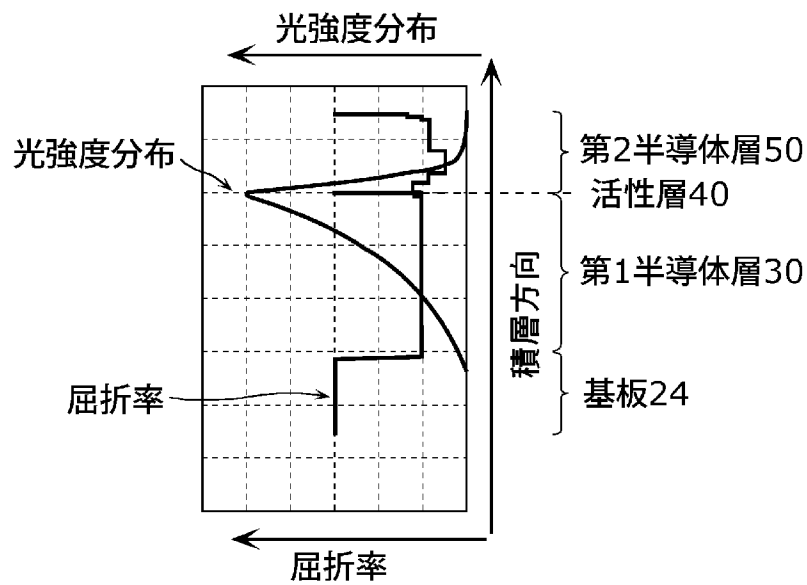
[図9]

層構造	組成	膜厚(μm)
p型コンタクト層57	p-GaAs	0.23
p型グレーディッド中間層56	p-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.55~0.05)	0.05
p型中間層55	p-(Al _{0.1} Ga _{0.9}) _{0.5} In _{0.5} P	0.106
p型第3クラッド層54	p-(Al _{0.30} Ga _{0.70}) _{0.5} In _{0.5} P	0.6
p型第2クラッド層53	p-(Al _{0.60} Ga _{0.40}) _{0.5} In _{0.5} P	0.4
p型第1クラッド層52	p-(Al _{0.25} Ga _{0.75}) _{0.5} In _{0.5} P	0.17
p側光ガイド層51	p-(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.13
障壁層45	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.021
井戸層44	GaAs	0.0065
障壁層43	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.004
井戸層42	GaAs	0.0065
障壁層41	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.02
n側光ガイド層34	n-(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.05
n側クラッド層33	n-(Al _{0.14} Ga _{0.86}) _{0.5} In _{0.5} P	3.2
n型グレーディッドバッファ層32	n-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.05~0.35)	0.075
n型バッファ層31	n-GaAs	0.4
基板24	n-GaAs	—

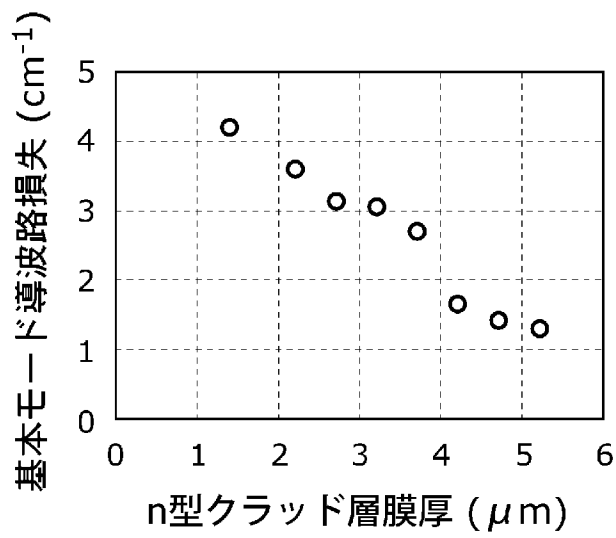
[図10]



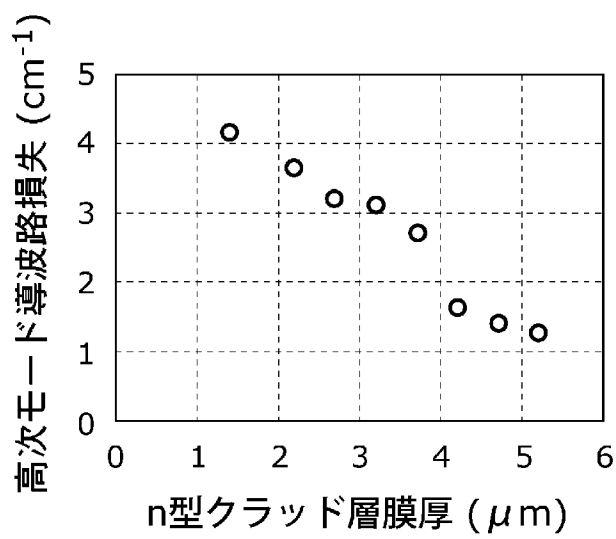
[図11]



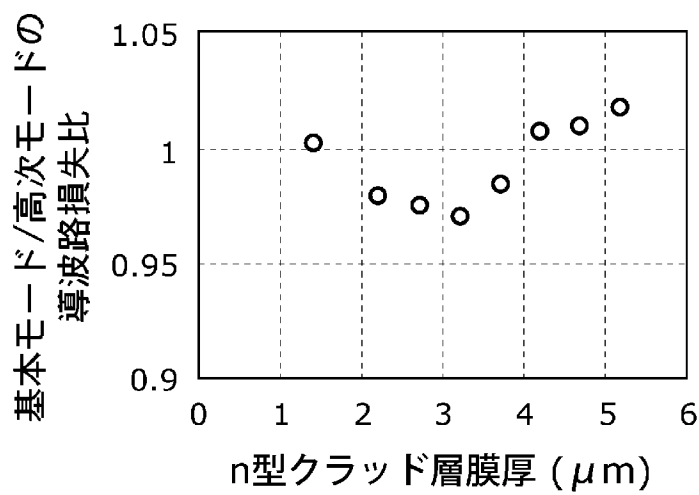
[図12A]



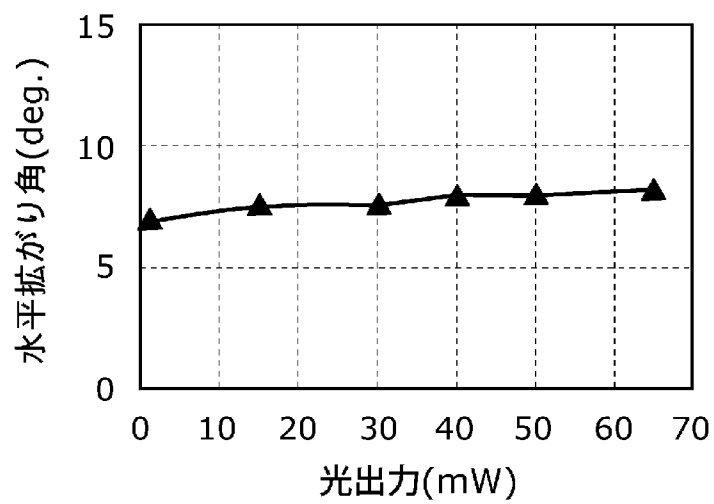
[図12B]



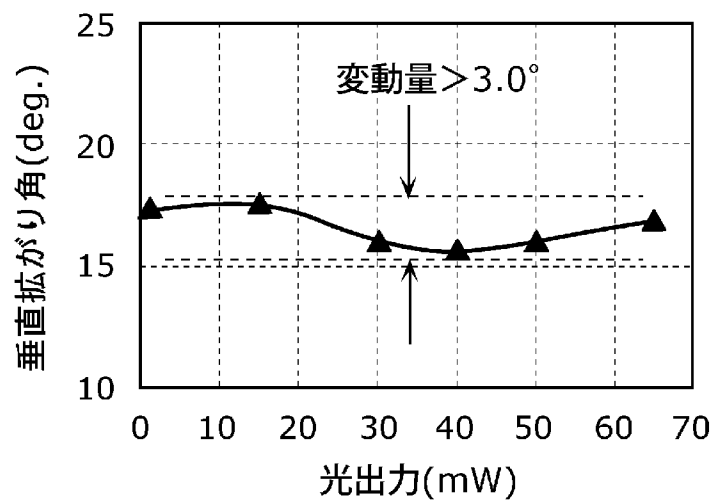
[図12C]



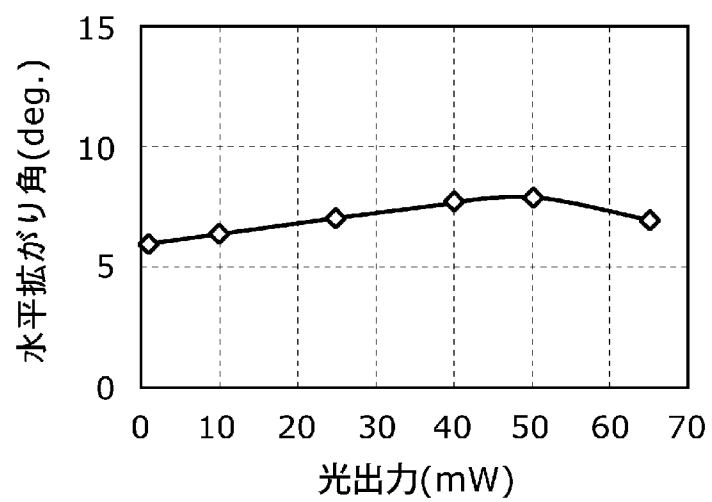
[図13A]



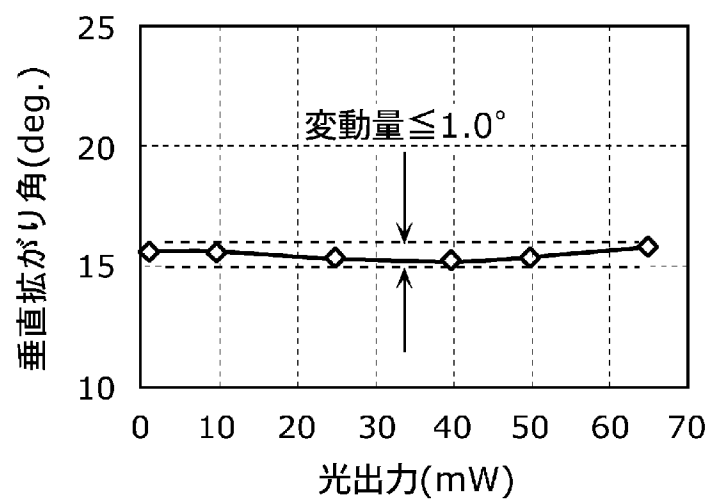
[図13B]



[図14A]



[図14B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/014960

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 5/16 (2006.01) i

FI: H01S5/16

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)

H01S5/00-5/50

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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.
Y A	WO 2019/026953 A1 (PANASONIC IP MANAGEMENT CO., LTD.) 07.02.2019 (2019-02-07) paragraphs [0011]-[0031], fig. 1-4	1-2, 4-5, 10-18 3, 6-9
Y A	JP 2004-087836 A (TOSHIBA CORP.) 18.03.2004 (2004-03-18) paragraphs [0003]-[0004], [0012]-[0026], fig. 1-3, 5	1-2, 4-5, 10-18 3, 6-8
Y A	JP 2013-247210 A (SHARP CORP.) 09.12.2013 (2013-12-09) paragraphs [0025]-[0057], fig. 1, 3-9	1-2, 4-5, 10-18 3, 6-9
A	JP 2017-045745 A (SEIKO EPSON CORP.) 02.03.2017 (2017-03-02) entire text, all drawings	1-18
A	JP 2012-129243 A (ROHM CO., LTD.) 05.07.2012 (2012-07-05) entire text, all drawings	1-18



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

"I" 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
03 July 2020 (03.07.2020)Date of mailing of the international search report
14 July 2020 (14.07.2020)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/JP2020/014960

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 05491711 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 13.02.1996 (1996-02-13) entire text, all drawings	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/014960

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2019/026953 A1	07 Feb. 2019	(Family: none)	
JP 2004-087836 A	18 Mar. 2004	US 2004/0120378 A1 paragraphs [0006]- [0007], [0031]- [0046], fig. 1-3, 5 CN 1481055 A	
JP 2013-247210 A	09 Dec. 2013	(Family: none)	
JP 2017-045745 A	02 Mar. 2017	US 2017/0062652 A1 entire text, all drawings	
JP 2012-129243 A	05 Jul. 2012	US 2012/0147916 A1 entire text, all drawings	
US 05491711 A	13 Feb. 1996	CN 102545057 A (Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 5/16(2006.01)i FI: H01S5/16		
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		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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
Y A	WO 2019/026953 A1（パナソニックIPマネジメント株式会社）07.02.2019（2019-02-07） 段落[0011]-[0031], 図1-4	1-2, 4-5, 10-18 3, 6-9
Y A	JP 2004-087836 A（株式会社東芝）18.03.2004（2004-03-18） 段落[0003]-[0004], [0012]-[0026], 図1-3, 5	1-2, 4-5, 10-18 3, 6-9
Y A	JP 2013-247210 A（シャープ株式会社）09.12.2013（2013-12-09） 段落[0025]-[0057], 図1, 3-9	1-2, 4-5, 10-18 3, 6-9
A	JP 2017-045745 A（セイコーエプソン株式会社）02.03.2017（2017-03-02） 全文, 全図	1-18
A	JP 2012-129243 A（ローム株式会社）05.07.2012（2012-07-05） 全文, 全図	1-18
☒ 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 03.07.2020		国際調査報告の発送日 14.07.2020
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） 大西 孝宣 2K 6006 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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	US 05491711 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 13.02.1996 (1996 - 02 - 13) 全文, 全図	1-18

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/JP2020/014960

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2019/026953	A1	07.02.2019	(ファミリーなし)	
JP	2004-087836	A	18.03.2004	US 2004/0120378 A1 段落[0006]-[0007], [0031]- [0046], 図1-3, 5 CN 1481055 A	
JP	2013-247210	A	09.12.2013	(ファミリーなし)	
JP	2017-045745	A	02.03.2017	US 2017/0062652 A1 全文, 全図	
JP	2012-129243	A	05.07.2012	US 2012/0147916 A1 全文, 全図 CN 102545057 A	
US	05491711	A	13.02.1996	(ファミリーなし)	