

(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1月5日(05.01.2023)



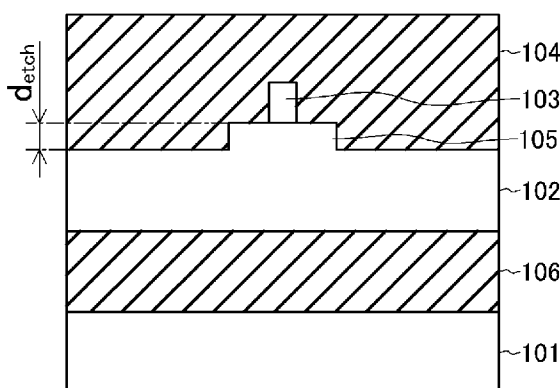
(10) 国際公開番号

WO 2023/276106 A1

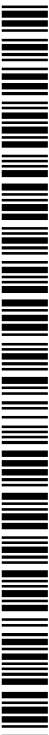
- (51) 国際特許分類:
G02B 6/125 (2006.01) *H01S 5/026* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/024936
- (22) 国際出願日: 2021年7月1日(01.07.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 山岡 優 (YAMAOKA, Suguru); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
松尾 慎治 (MATSUO, Shinji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山川国際特許事務所内 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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,

(54) Title: SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体光デバイス



(57) **Abstract:** This semiconductor optical device comprises: a first cladding layer (102) formed above a Si substrate (101); a core (103) formed on the first cladding layer (102); and a second cladding layer (104) formed over the first cladding layer (102) by covering the core (103). A lower cladding layer (106) comprising SiO₂ or the like is formed on (the surface of) the Si substrate (101), and the first cladding layer (102) is formed on the lower cladding layer (106). The first cladding layer (102) is constituted from a material having thermal conductivity higher than that of a direct transition-type semiconductor. A refractive index of the first cladding layer (102) is set higher than that of the second cladding layer (104) and lower than that of the core (103). In an optical coupling region of an optical waveguide formed by the core (103), a cross-section shape of the core (103) is in a state in which a substrate radiation mode is manifested.



WO 2023/276106 A1

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))

(57) 要約：半導体光デバイスは、Si基板(101)の上に形成された第1クラッド層(102)と、第1クラッド層(102)の上に形成されたコア(103)と、コア(103)を覆って第1クラッド層(102)の上に形成された第2クラッド層(104)とを備える。Si基板(101)の上(表面)には、SiO₂などによる下部クラッド層(106)が形成され、下部クラッド層(106)の上に、第1クラッド層(102)が形成されている。第1クラッド層(102)は、直接遷移型の半導体より熱伝導性の高い材料から構成されている。第1クラッド層(102)の屈折率は、第2クラッド層(104)より高く、かつ、コア(103)より低くされている。コア(103)による光導波路の光結合領域では、コア(103)の断面形状が、基板放射モードが発現される状態とされている。

明 細 書

発明の名称：半導体光デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、半導体光デバイスに関する。

背景技術

[0002] Si フォトニクスは、CMOS 技術により電子デバイスと光デバイスを大口径のSi 基板上に一体集積する技術である。Si は間接遷移半導体であるため、発光効率が極めて小さいことから、Si を発光デバイスとして利用することは困難である。このため、直接遷移型半導体で発光効率の高いGaAs やInP などのIII-V 族化合物半導体が、光デバイスとして用いられている。

[0003] 例えば、非特許文献1によると、Si フォトニクスの光デバイスとしては、InP 基板とSiO₂/Si 基板の接合技術により、SiO₂/Si 基板上にレーザ構造を作製することが可能である。基板貼り合わせ技術としては、親水化接合や表面活性化接合がある。これら接合における接合界面には、例えばSiO₂などの絶縁材料による層が用いられている。

[0004] SiO₂/Si 基板上メンブレンレーザ構造では、Si 基板の屈折率は上部クラッド媒質の屈折率よりも高く、活性層媒質の屈折率と比較しても同程度である。このため、活性層で高い光閉じ込めを得るためにはSiO₂の厚さを数μmオーダーとし、導波モードがSi 基板に分布しないような設計とすることが必要である。例えば、SiO₂/Si 基板上メンブレンレーザ構造では、活性層が低屈折率媒質による層で挟まれた構造であるため、高い光閉じ込め係数が得られる。このため、高効率・低消費電力な直接変調レーザが実現されている（非特許文献1）。

[0005] しかしながら、上記のレーザ構造ではSiO₂の熱伝導度が小さいために、活性層における放熱効果が小さい。このため、電流注入による温度上昇が大きく、比較的小さなバイアス電流で光出力と変調速度は飽和するという課題

がある。

[0006] この課題を解決するために、コアより低い屈折率と高い熱伝導度を有する放熱性基板上にレーザを作製することが提案されている。例えば、SiやInPよりも熱伝導率が高く、かつ、屈折率が小さいSiCを基板としたレーザ構造が作製されており、レーザ活性層の放熱特性が向上する。その結果、従来構造より多くの電流を注入できるため、60GHzの帯域を有する直接変調レーザが実現されている（非特許文献3）。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：T. Fujii, T. Sato, K. Takeda, K. Hasebe, T. Kakitsuka, and S. Matsuo, "Epitaxial growth of InP to bury directly bonded thin active layer on SiO₂/Si substrate for fabricating distributed feedback lasers on silicon", IET Optoelectronics, vol. 9, no. 4, pp. 151-157, 2015.

非特許文献2：W. Kobayashi, T. Ito, T. Yamanaka, T. Fujisawa, Y. Shibata, T. Kurosaki, M. Kohtoku, T. Tadokoro, and H. Sanjoh, "50-Gb/s direct modulation of a 1.3- μ m InGaAlAs-based DFB laser with a ridge waveguide structure", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 19, no. 4, pp. 1500908-1500908, 2013.

非特許文献3：S. Yamaoka, N. -P. Diamantopoulos, H. Nishi, R. Nakao, T. Fujii, K. Takeda, T. Hiraki, T. Tsurugaya, S. Kanazawa, H. Tanobe, T. Kakitsuka, T. Tsuchizawa, F. Koyama, and S. Matsuo, "Directly modulated membrane lasers with 108GHz bandwidth on a high-thermal-conductivity silicon carbide substrate", Nature Photonics, vol. 15, pp. 28-35, 2021.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] ところで、放熱性基板上に形成されたレーザは、単体光素子としては非常に優れた動作特性が期待できる一方で、現構造では放熱性基板上レーザからの光出力を SiO_2/Si 基板の SiO_2 中に埋め込まれた Si 光導波路へ光結合させることが困難であり、 Si フォトニクスへの適用が課題となる。
- [0009] 前述したように、放熱性の高い層の上にレーザを形成することで、活性層における高い放熱性により半導体レーザ部に注入できる電流量が大きくなるため、高光出力、高速変調、および、高温動作が期待できる。しかしながら、放熱性の層の上にレーザを配置する構成とするだけでは、 Si フォトニクスへの適用はできない。例えば、放熱性の高い層の上のレーザからの光出力を、数 μm から数十 μm 程度の放熱性の高い層の厚さを隔て、 Si による光導波路へ高効率に光結合させる必要がある。しかしながら、このような光結合は容易ではないという問題があった。
- [0010] 本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、放熱性の高い層を隔てて配置されている光素子と Si 光導波路との光学的な結合が、より容易に得られるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0011] 本発明に係る半導体光デバイスは、 Si 基板の上に形成され、直接遷移型の半導体より熱伝導性の高い材料から構成された第1クラッド層と、第1クラッド層の上に形成された直接遷移型の半導体からなるコアと、コアを覆って第1クラッド層の上に形成された第2クラッド層とを備え、第1クラッド層の屈折率は、第2クラッド層より高く、かつ、コアより低くされ、コアによる光導波路の光結合領域では、コアの断面形状が、基板放射モードが発現される状態とされている。

発明の効果

- [0012] 以上説明したことにより、本発明によれば、放熱性の高い層を隔てて配置されている光素子と Si 光導波路との光学的な結合が、より容易に得られる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係る半導体光デバイスの構成を示す断面図である。

[図2A]図2Aは、実施の形態に係る半導体光デバイスの放熱特性を検討するために用いた半導体レーザの構成を示す断面図である。

[図2B]図2Bは、実施の形態に係る半導体光デバイスの放熱特性の検討結果を示す特性図である。

[図3A]図3Aは、リブ構造105を設けない ($d_{\text{etch}} = 0 \mu\text{m}$) 場合の、コア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図3B]図3Bは、リブ構造105の厚さを $0.1 \mu\text{m}$ ($d_{\text{etch}} = 0.1 \mu\text{m}$) とした場合の、コア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図3C]図3Cは、リブ構造105の厚さを $0.2 \mu\text{m}$ ($d_{\text{etch}} = 0.2 \mu\text{m}$) とした場合の、コア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図4A]図4Aは、コア幅を $0.5 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図4B]図4Bは、コア幅を $0.4 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図4C]図4Cは、コア幅を $0.3 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図5A]図5Aは、コア幅を $0.5 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図5B]図5Bは、コア幅を $0.4 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図5C]図5Cは、コア幅を $0.3 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態に係る他の半導体光デバイスの構成を示す

断面図である。

[図7A]図7Aは、コア103のコア幅を $0.7\mu\text{m}$ とし、下部コア107のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ とした場合のモードプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図7B]図7Bは、コア103のコア幅を $0.5\mu\text{m}$ とし、下部コア107のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ とした場合のモードプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図7C]図7Cは、コア103のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ とし、下部コア107のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ とした場合のモードプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図7D]図7Dは、コア103のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ とし、下部コア107のコア幅を $0.35\mu\text{m}$ とした場合のモードプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図7E]図7Eは、コア103のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ とし、下部コア107のコア幅を $0.4\mu\text{m}$ とした場合のモードプロファイルの計算結果を示す分布図である。

[図8]図8は、リブ構造を備えない場合のコア103による光導波路から下部コア107による光導波路へのモード遷移の計算を示す分布図である。

[図9]図9は、本発明の実施の形態に係る他の半導体光デバイスの構成を示す断面図である。

[図10]図10は、本発明の実施の形態に係る他の半導体光デバイスの構成を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施の形態に係る半導体光デバイスについて図1を参照して説明する。この半導体光デバイスは、Si基板101の上に形成された第1クラッド層102と、第1クラッド層102の上に形成されたコア103と、コア103を覆って第1クラッド層102の上に形成された第2クラッド層104とを備える。この例では、Si基板101の上（表面）には、S

iO_2 などによる下部クラッド層106が形成され、下部クラッド層106の上に、第1クラッド層102が形成されている。

[0015] 第1クラッド層102は、直接遷移型の半導体より熱伝導性の高い材料から構成されている。コア103は、直接遷移型の半導体から構成されている。コア103は、例えば、 InP 、 InGaAsP などのIII-V族化合物半導体から構成することができる。コア103は、図1には示されていない半導体レーザの活性層に接続して形成されている。コア103による光導波路に、半導体レーザより発振したレーザ光が導波する。

[0016] また、この半導体光デバイスにおいて、第1クラッド層102の屈折率は、第2クラッド層104より高く、かつ、コア103より低くされている。第1クラッド層102は、例えば、 SiC 、 AlN 、 GaN 、およびダイヤモンドなどから構成することができる。第2クラッド層104は、 SiO_2 や SiO_x などから構成することができる。

[0017] また、コア103による光導波路の光結合領域では、コア103の断面形状が、基板放射モードが発現される状態とされている。図1は、この半導体光デバイスの光結合領域における断面を示している。例えば、コア103の Si 基板101の平面方向の幅は、光結合領域に近づくほど小さくされている。コア103の幅（コア幅）を小さくことにより、基板放射モードを発現することができる。一例を示すと、例えば、光結合領域におけるコア103のコア幅は、 $0.3\mu\text{m}$ とし、厚さは $0.32\mu\text{m}$ とすることができる。コア103の厚さ $0.32\mu\text{m}$ は、活性層内を伝搬する $1.31\mu\text{m}$ の波長の光が活性層の厚さ方向に対してシングルモードとなるおおよそ上限の値である。

[0018] 基板放射モードとすることにより、図1には示していない第1クラッド層102の下に形成されている下部コアによる光導波路に、コア103による光導波路を導波しているレーザ光を結合させることができる。第1クラッド層102の下に配置される下部コアによる光導波路は、光結合領域において、コア103と重なるように配置されているものである。例えば、下部コア

は、Siから構成され、下部クラッド層106に埋め込まれて形成されたものとするができる。なお、下部コアによる光導波路は、光結合領域において、コア103よりなる光導波路と光結合可能な範囲の箇所に配置されている。

[0019] また、この例では、光結合領域における第1クラッド層102は、表面に凸形状に厚くなったリブ構造105を備え、コア103は、リブ構造105の上に形成されている。例えば、公知のリソグラフィ技術により形成したレジストパターンをマスクとし、第1クラッド層102をエッチング加工することで、リブ構造105が形成できる。このエッチング加工におけるエッチング深さ d_{etch} が、リブ構造105の厚さとなる。

[0020] リブ構造105を備えることで、基板放射モードの横方向における光閉じ込めが向上し、上述した基板放射モードによる光の結合がより効率的に実施できるようになる。さらに、光結合領域において、コア103に第1グレーティングカップラを形成し、上述した第1クラッド層102の下に配置される下部コアに第2グレーティングカップラを形成することで、さらに効率的に上述した光結合が実現できる。コア103に形成した第1グレーティングカップラにより、コア103による光導波路を導波しているレーザ光を、Si基板101の側に放射することができる。このように放射した光は、下部コアに形成されている第2グレーティングカップラに結合する。

[0021] 例えば、第1クラッド層102とする基板の上に、コア103およびコア103に接続する半導体レーザを作製し、また、リブ構造105を形成した後、これらを覆うように SiO_2 を堆積して第2クラッド層104を形成する。次いで、上記基板を裏面から薄層化して第1クラッド層102とした後、下部クラッド層106が形成されているSi基板101に貼り合わせる。これらにより、実施の形態に係る半導体光デバイスが作製できる。例えば、下部クラッド層106には、貼り合わせる前に、下部コアなどによる光導波路を形成しておくことができる。

[0022] 次に、上述した構成における放熱特性について検討した結果について説明

する。この検討では、図2Aに断面を模式的に示す半導体レーザを用いた。この半導体レーザは、まず、Si基板301の上にSiO₂からなる下部クラッド層306が形成され、下部クラッド層306の上に、SiCからなる厚さ d_{SiC} の第1クラッド層302が形成されている。

[0023] また、第1クラッド層302の上には、活性層303と、活性層303を挟んで配置されたp-InP層307およびn-InP層308による、いわゆるメンブレンレーザ構造を備える。活性層303は、例えば、InGaAlAsまたはInGaAsPによる多重量子井戸構造とされている。なお、p-InP層307とn-InP層308とに挟まれた領域において、活性層303の上面は、ノンドープのInPからなる半導体層309で覆われている。

[0024] また、活性層303、p-InP層307、n-InP層308の上には、SiO₂からなる第2クラッド層304が形成されている。また、p-InP層307には、p電極311がオーミック接続し、n-InP層308には、n電極312がオーミック接続している。

[0025] 活性層303は、コア幅 $0.7\mu\text{m}$ 、厚さ $0.33\mu\text{m}$ のコア状とした。図2Bに、導波方向の活性層長を $50\mu\text{m}$ とした半導体レーザの熱抵抗の d_{SiC} 依存性を示す。なお、熱源はp-InP層307にのみ配置し、 100mW のパワーとした。図2Bに示すように、 d_{SiC} が大きいほど熱抵抗値は減少していることが明らかである。このことは、SiCによる第1クラッド層の厚さが大きいほど、半導体レーザに対する注入電流量を増大でき、緩和振動周波数増大による変調帯域の増加が可能であることを示している。

[0026] 次に、コア103による光導波路を中心としたモードプロファイルについて説明する。

[0027] まず、リブ構造105の効果について、図3A、図3B、図3Cを参照して説明する。図3Aは、リブ構造105を設けない($d_{\text{etch}}=0\mu\text{m}$)場合の、コア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。また、図3Bは、リブ構造105の厚さを $0.1\mu\text{m}$ (

$d_{\text{etch}} = 0.1 \mu\text{m}$) とした場合の、コア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。また、図3Cは、リブ構造105の厚さを $0.2 \mu\text{m}$ ($d_{\text{etch}} = 0.2 \mu\text{m}$) とした場合の、コア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。

[0028] また、下部クラッド層106は、 SiO_2 から構成し、第1クラッド層102は、 SiC から構成し、コア103は、 InP から構成し、第2クラッド層104は、 SiO_x から構成した。また、コア103は、コア幅 $0.3 \mu\text{m}$ とし、厚さ $0.25 \mu\text{m}$ とした。また、第1クラッド層102は、厚さ $2 \mu\text{m}$ とし、下部クラッド層106は、厚さ $1 \mu\text{m}$ とした。また、コア103の形成位置より、平面方向に $2 \mu\text{m}$ 離れた箇所をエッチング加工することで、リブ構造105を形成した。

[0029] 図3A、図3B、図3Cに示すように、導波モードは、基板放射モードである。また、リブ構造105を形成する場合、 SiC による第1クラッド層102の横方向の光閉じ込めが強くなっている。従って、リブ構造105を用いた方が、下部コアによる光導波路により効果的に光を結合させることができる。

[0030] 次に、コア103のコア幅と基板放射モードの関係について、図4A、図4B、図4Cを参照して説明する。図4Aは、コア幅を $0.5 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。図4Bは、コア幅を $0.4 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。図4cは、コア幅を $0.3 \mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。

[0031] なお、下部クラッド層106は、 SiO_2 から構成し、第1クラッド層102は、 SiC から構成し、コア103は、 InP から構成し、第2クラッド層104は、 SiO_x から構成した。また、コア103は、厚さ $0.25 \mu\text{m}$ とした。また、第1クラッド層102は、厚さ $2 \mu\text{m}$ とし、下部クラッド層

106は、厚さ $1\mu\text{m}$ とした。また、コア103の形成位置より、平面方向に $2\mu\text{m}$ 離れた箇所をエッチング加工することで、リブ構造105を形成し、リブ構造105の厚さは $2\mu\text{m}$ とした。

[0032] 図4Aに示すように、コア幅 $0.5\mu\text{m}$ では、コア103による光導波路にモードが分布している。これに対し、図4B、図4Cに示すように、コア幅 $0.4\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ では基板放射モードとなっている。従って、光結合領域ではない領域では、コア幅を $0.5\mu\text{m}$ 程度とし、これを光結合領域にかけて徐々に小さくすることで、コア103による光導波路のモード伝播中に徐々に基板放射させることが可能である。

[0033] 次に、第1クラッド層102をより厚くした場合のコア103のコア幅と基板放射モードの関係について、図5A、図5B、図5Cを参照して説明する。この例では、SiCからなる第1クラッド層102の厚さを $5\mu\text{m}$ とした。

[0034] なお、図5Aは、コア幅を $0.5\mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。図5Bは、コア幅を $0.4\mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。図5cは、コア幅を $0.3\mu\text{m}$ としたコア103による光導波路における基板放射モードのプロファイルの計算結果を示している。

[0035] このように、第1クラッド層102をより厚くしても、図4A、図4B、図4Cに示した結果と同様に、コア103のコア幅が狭くなるにつれて、基板放射が発現している。また、この計算結果においても、リブ構造105を用いることで、第1クラッド層102における横方向にモードが閉じ込められることがわかる。なおコア103は、幅に加えて厚さも小さくすることで、より効率的に基板放射モードが発現する。

[0036] 次に、下部コアによる光導波路への光結合について説明する。以下では、図6に示す半導体光デバイスを例にして説明する。この半導体光デバイスは、Si基板101の上に形成された下部クラッド層106、下部クラッド層

106の上に形成された第1クラッド層102と、第1クラッド層102の上に形成されたコア103と、コア103を覆って第1クラッド層102の上に形成された第2クラッド層104とを備える。また、第1クラッド層102には、リブ構造105が形成されている。これらの構成は、図1を用いて説明した半導体光デバイスと同様である。

[0037] また、この例では、第1クラッド層102の下のSi基板101の上に、下部クラッド層106に埋め込まれて形成された下部コア107を備える。下部コア107は、例えば、Siから構成されている。なお、図6は、半導体光デバイスの光結合領域における断面を示している。

[0038] この半導体光デバイスについて、コア103のコア幅、および下部コア107のコア幅を変えて計算したモードプロファイルの計算結果を図7A、図7B、図7C、図7D、図7Eに示す。なお、コア103は、InPから構成し、下部コア107はSiから構成し、第1クラッド層102は、SiCから構成し、第2クラッド層104は、SiO_xから構成し、下部クラッド層106は、SiO₂から構成している。

[0039] 図7Aは、コア103のコア幅を0.7μmとし、下部コア107のコア幅を0.3μmとした場合のモードプロファイルの計算結果を示している。図7Bは、コア103のコア幅を0.5μmとし、下部コア107のコア幅を0.3μmとした場合のモードプロファイルの計算結果を示している。図7Cは、コア103のコア幅を0.3μmとし、下部コア107のコア幅を0.3μmとした場合のモードプロファイルの計算結果を示している。図7Dは、コア103のコア幅を0.3μmとし、下部コア107のコア幅を0.35μmとした場合のモードプロファイルの計算結果を示している。図7Eは、コア103のコア幅を0.3μmとし、下部コア107のコア幅を0.4μmとした場合のモードプロファイルの計算結果を示している。

[0040] 図7A、図7B、図7C、図7D、図7Eに示すように、コア103のコア幅および下部コア107のコア幅をより小さくすることで、コア103による光導波路から下部コア107による光導波路に、効率的にモードが遷移

していることがわかる。

[0041] なお、リブ構造を備えない場合のコア103による光導波路から下部コア107による光導波路へのモード遷移について、図8に示す。この計算では、コア103のコア幅を $0.5\mu\text{m}$ とし、下部コア107のコア幅を $0.3\mu\text{m}$ としている。リブ構造を用いる場合に比較して、第1クラッド層102におけるモードが横方向に広がっている。このため、コア103による光導波路から下部コア107による光導波路へのモード遷移の効率が低下している。

[0042] 次に、半導体レーザを集積した構成に付いて図9を参照して説明する。図9は、導波高校に平行な断面を模式的に示している。第1クラッド層102の上に、多重量子井戸構造の活性層111による半導体レーザ112が形成され、半導体レーザ112に光学的に接続してコア103が形成されている。半導体レーザ112は、例えば、分布帰還型 (Distributed Feedback ; DFB) レーザである。半導体レーザ112は、コア103とともに第2クラッド層104に覆われている。コア103は、半導体レーザ112との結合箇所から光結合領域121にかけて、コア幅が徐々に小さくなっている。

[0043] また、下部クラッド層106には、光結合領域121において、コア103と上下に重なる状態に下部コア107が形成されている。下部コア107は、光結合領域121から、半導体レーザ112より離れる方向に延在している。下部コア107の、延在している領域においては、例えば、第1クラッド層102および第2クラッド層104が形成されていない。

[0044] コア幅が例えば、 $0.3\mu\text{m}$ と小さくされている光結合領域121のコア103による光導波路では、導波モードが基板放射モードとなり、下部コア107による光導波路に結合可能とされている。また、光結合領域121においては、下部コア107のコア幅が、例えば $0.3\mu\text{m}$ と他の領域より小さくされている。このため、導波モードは、コア103による光導波路から下部コア107による光導波路へ遷移する。

[0045] また、下部コア107の導波方向に光結合領域121から離れた延在領域

の所定箇所に、光帰還部113が形成されている。光帰還部113は、例えば、回折格子によるDBR、ギャップとすることができる。また、光帰還部113は、下部コア107による光導波路におけるフレネル反射によるものとしてすることができる。

[0046] 半導体レーザ112は、光帰還部113で形成されるファブリペロー型の共振モードと相互作用し、位相整合条件が満たされる条件において、光子と光子の共鳴現象（光子-光子共鳴、Photon-Photon Resonance；PPR）が生じる。このPPRにより、半導体レーザ112の広帯域化が可能となる。

[0047] また、光帰還部113が形成されている箇所の下部クラッド層106の上にヒータ114を設け、光帰還部113における温度を調節することで、位相を制御することが可能である。例えば、SiO₂から構成された下部クラッド層106は、低熱伝導度であるため効率良く光帰還部113を温調することが可能となる。

[0048] また、図10に示すように、光結合領域121において、コア103に第1グレーティングカップラ115を形成し、下部コア107に第2グレーティングカップラ116を形成することで、さらに効率的に上述した光結合が実現できる。コア103に形成した第1グレーティングカップラ115により、コア103による光導波路を導波しているレーザ光を、Si基板101の側に放射することができる。この放射した光は、下部コア107に形成されている第2グレーティングカップラ116に結合する。結合したレーザ光は、下部コア107の延在する方向に導波していく。

[0049] 上述したように、実施の形態に係る半導体光デバイスによれば、放熱性の高い第1クラッド層102の上に形成された半導体レーザ112からコア103による光導波路を経由し、下部コア107によるSi光導波路にレーザに光を結合させることが可能となり、広帯域・高温動作するレーザをSiフォトリクスに適用できる。

[0050] 以上に説明したように、本発明では、Si基板の上に直接遷移型の半導体より熱伝導性の高い材料から構成された第1クラッド層を形成し、この上に

直接遷移型の半導体からなるコアを形成し、第1クラッド層の屈折率をコアより低くし、コアによる光導波路の光結合領域では、コアの断面形状が、基板放射モードが発現される状態とした。この結果、本発明によれば、放熱性の高い層を隔てて配置されている光素子とSi光導波路との光学的な結合が、より容易に得られるようになる。

[0051] なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

符号の説明

[0052] 101…Si基板、102…第1クラッド層、103…コア、104…第2クラッド層、105…リブ構造、106…下部クラッド層。

請求の範囲

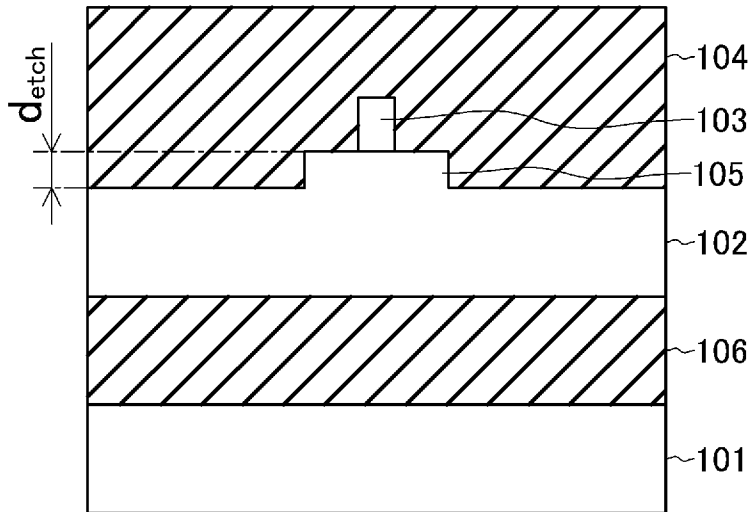
- [請求項1] Si基板の上に形成され、直接遷移型の半導体より熱伝導性の高い材料から構成された第1クラッド層と、
- 前記第1クラッド層の上に形成された直接遷移型の半導体からなるコアと、
- 前記コアを覆って前記第1クラッド層の上に形成された第2クラッド層と
- を備え、
- 前記第1クラッド層の屈折率は、前記第2クラッド層より高く、かつ、前記コアより低くされ、
- 前記コアによる光導波路の光結合領域では、前記コアの断面形状が、基板放射モードが発現される状態とされていることを特徴とする半導体光デバイス。
- [請求項2] 請求項1記載の光デバイスにおいて、
- 前記光結合領域における前記第1クラッド層は、表面に凸形状に厚くなったり構造を備え、
- 前記コアは、前記リブ構造の上に形成されていることを特徴とする半導体光デバイス。
- [請求項3] 請求項1または2記載の光デバイスにおいて、
- 前記コアの前記Si基板の平面方向の幅は、前記光結合領域に近づくほど小さくされていることを特徴とする半導体光デバイス。
- [請求項4] 請求項1～3のいずれか1項に記載の光デバイスにおいて、
- 前記第1クラッド層の下の前記Si基板の上に形成された下部コアを備え、
- 前記コアよりなる光導波路は、前記光結合領域において、前記下部コアよりなる光導波路と光結合可能に配置されている
- ことを特徴とする半導体光デバイス。
- [請求項5] 請求項4記載の光デバイスにおいて、

前記光結合領域における前記コアに形成された第1グレーティング
カプラと、

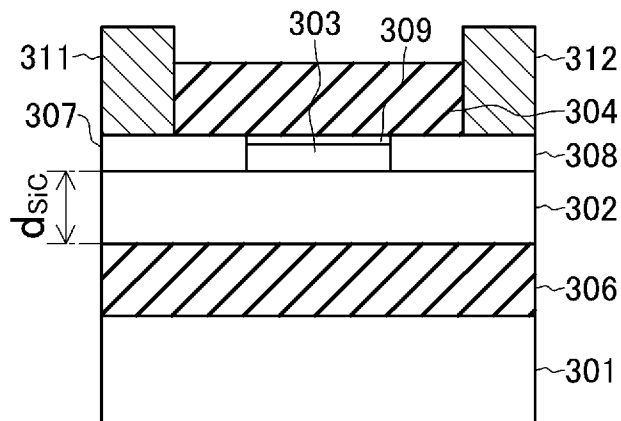
前記光結合領域における前記下部コアに形成された第2グレーティ
ングカプラと

をさらに備えることを特徴とする半導体光デバイス。

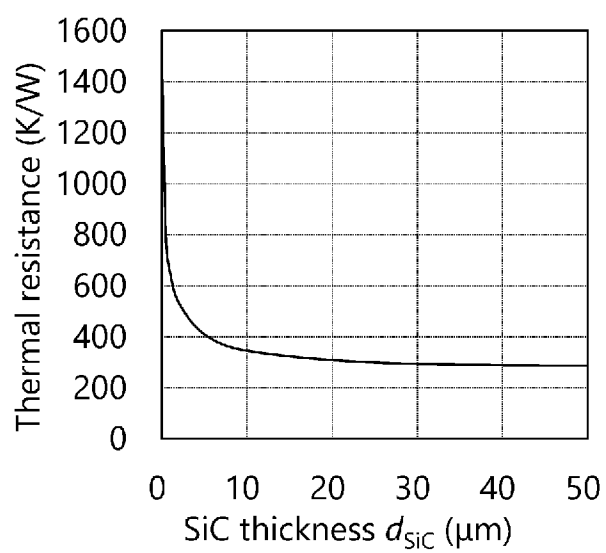
[図1]



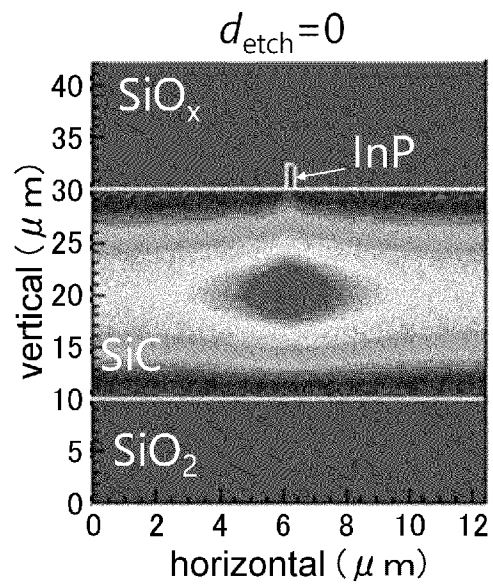
[図2A]



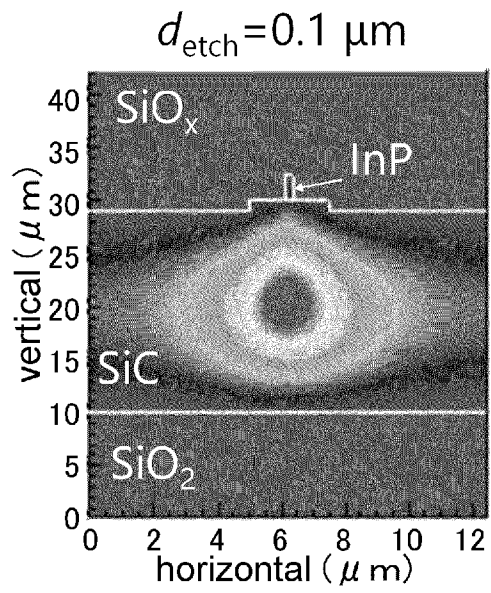
[図2B]



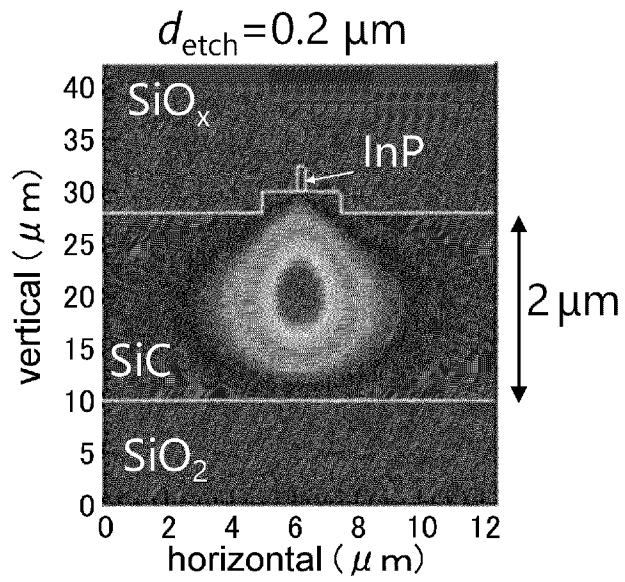
[図3A]



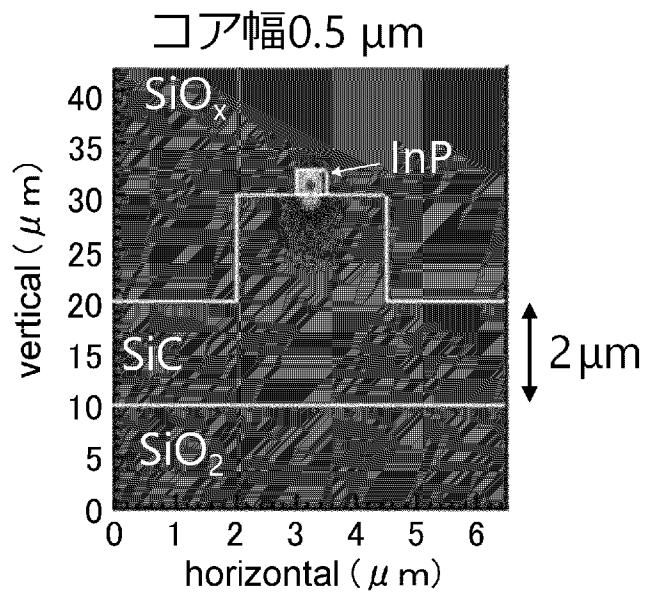
[図3B]



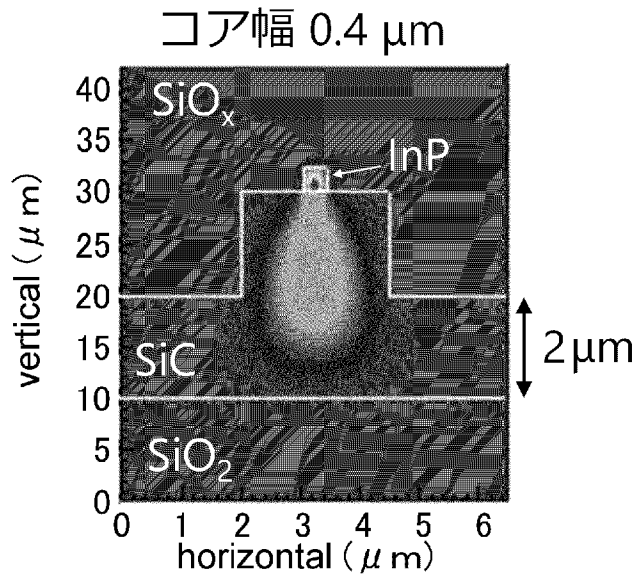
[図3C]



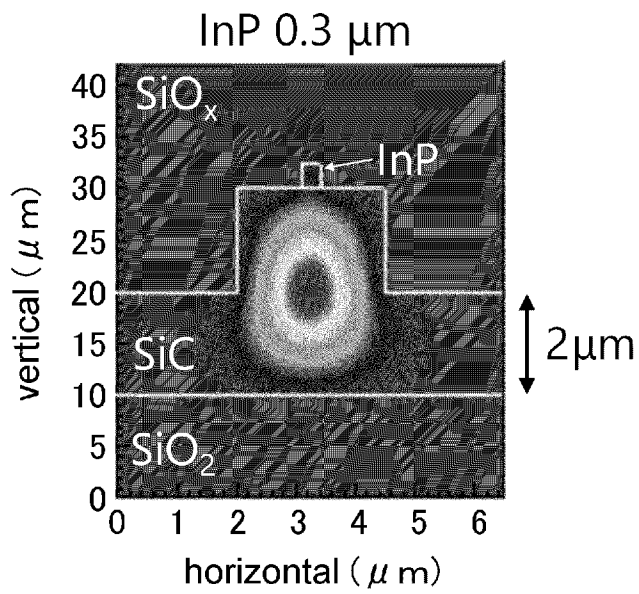
[図4A]



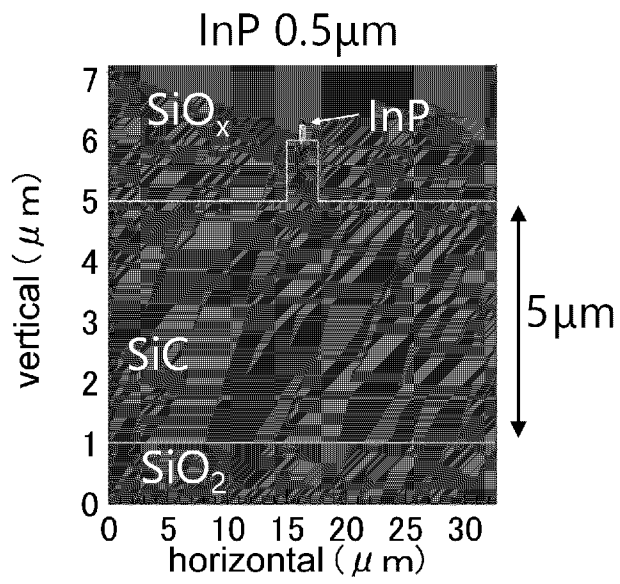
[図4B]



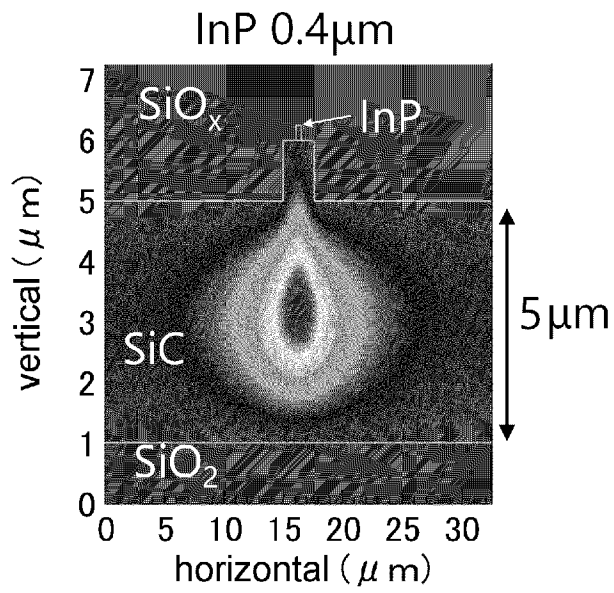
[図4C]



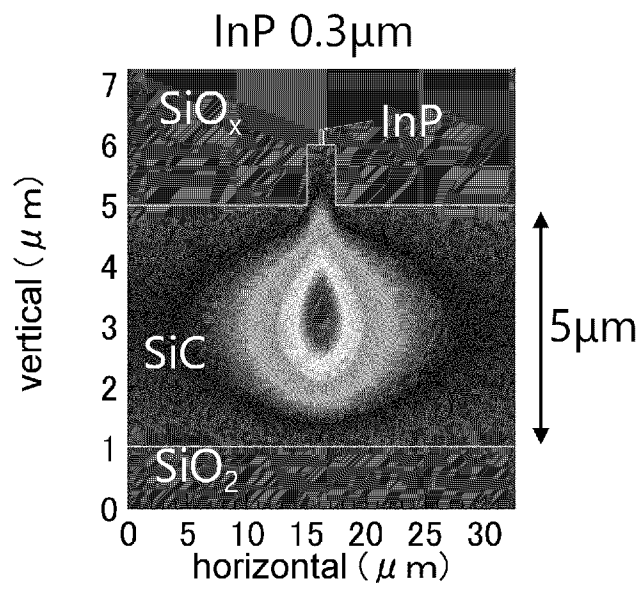
[図5A]



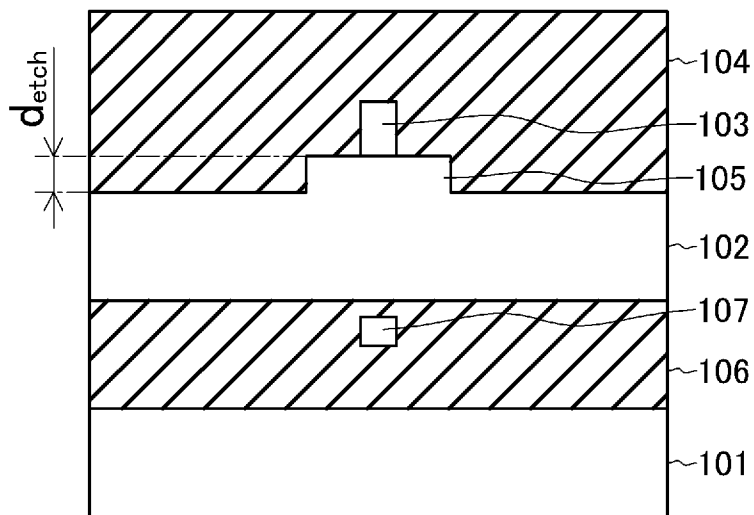
[図5B]



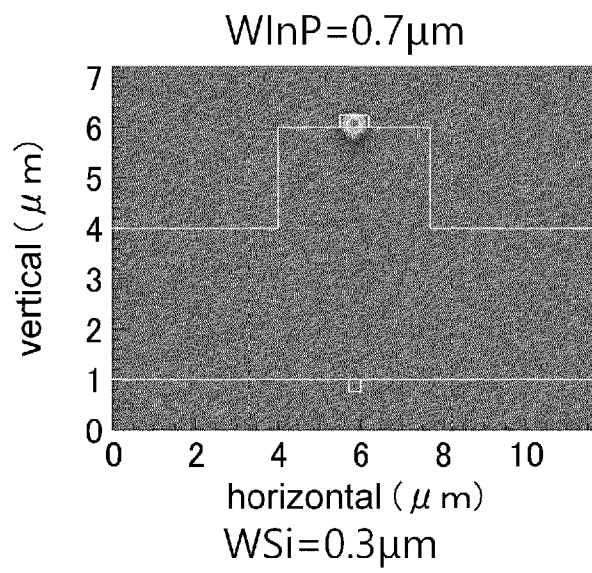
[図5C]



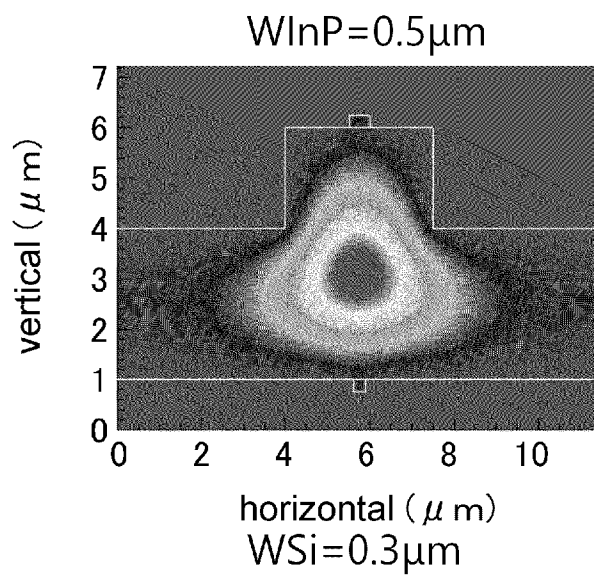
[図6]



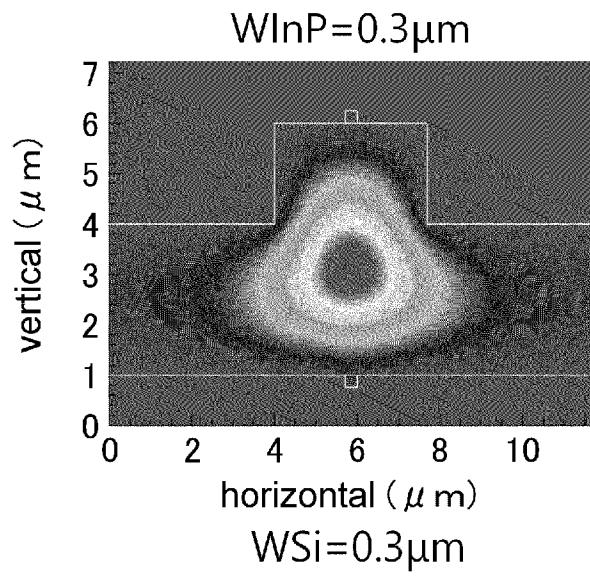
[図7A]



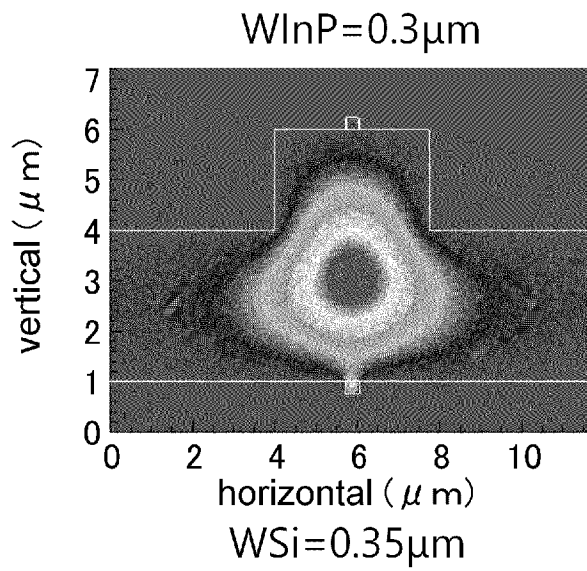
[図7B]



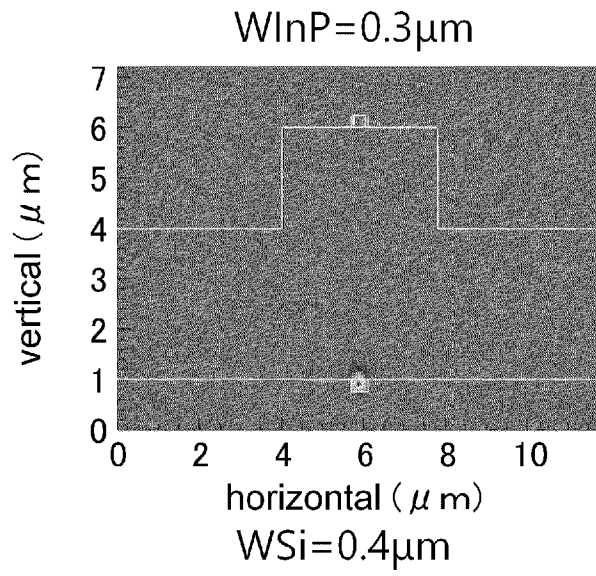
[図7C]



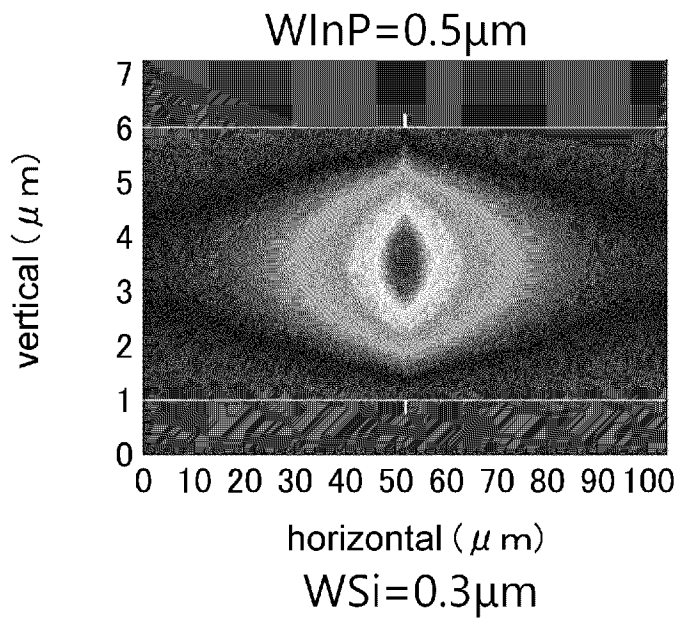
[図7D]



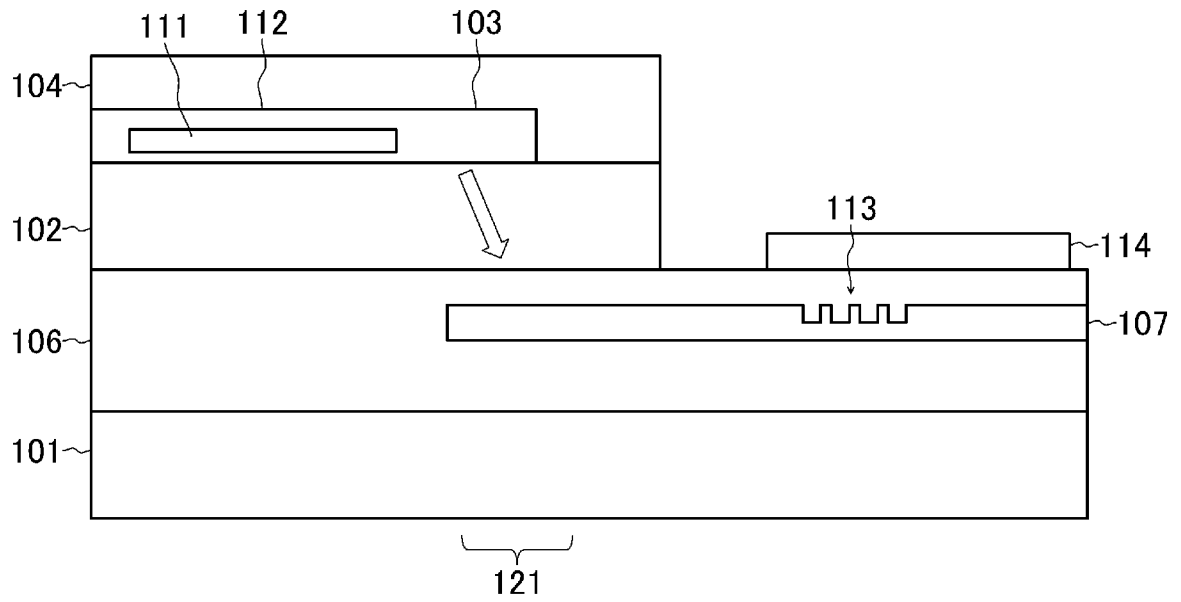
[図7E]



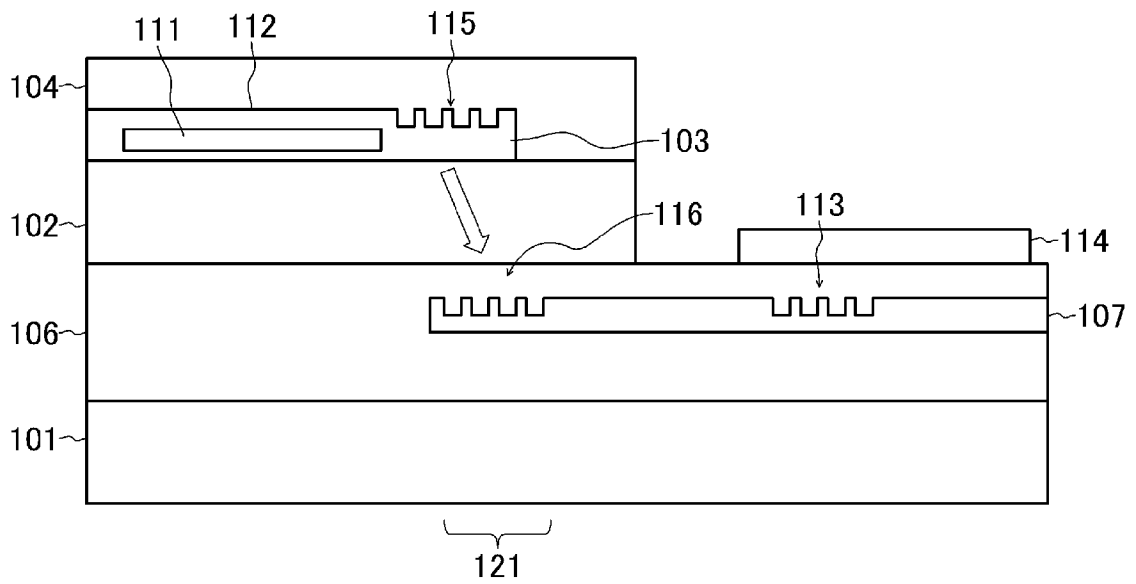
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/024936

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 G02B 6/125(2006.01)i; H01S 5/026(2006.01)i
 FI: G02B6/125 301; H01S5/026 618

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)
 G02B6/12-6/14; 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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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 2019-083268 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 30 May 2019 (2019-05-30) paragraphs [0008], [0018]- [0026], [0039], fig. 1	1-2, 4 3, 5
Y	US 2015/0378100 A1 (ALCATEL-LUCENT USA, INC.) 31 December 2015 (2015-12-31) paragraphs [0021]- [0027], fig. 1A-1B	3
Y	WO 2012/011370 A1 (NEC CORPORATION) 26 January 2012 (2012-01-26) page 5, lines 3-8, fig. 1, 4	5
Y	US 2019/0207362 A1 (FINI SAR CORPORATION) 04 July 2019 (2019-07-04) paragraphs [0121]-[0125], fig. 15-16	5
A	JP 2019-003029 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 10 January 2019 (2019-01-10) paragraphs [0046]- [0052], fig. 6	1-5

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
 07 September 2021 (07.09.2021)

Date of mailing of the international search report
 21 September 2021 (21.09.2021)

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/JP2021/024936

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-006638 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 11 January 2018 (2018-01-11) paragraphs [0014]- [0019], fig. 1-2	1-5
A	US 2017/0214216 A1 (ALCATEL LUCENT USA, INC.) 27 July 2017 (2017-07-27) paragraph [0043], fig. 1a-3	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/024936

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2019-083268 A	30 May 2019	(Family: none)	
US 2015/0378100 A1	31 Dec. 2015	WO 2015/198129 A1	
WO 2012/011370 A1	26 Jan. 2012	US 2013/0121639 A1	
		paragraph [0033], fig. 1, 4	
US 2019/0207362 A1	04 Jul. 2019	EP 3391482 A1	
		CN 108701962 A	
		WO 2017/106880 A1	
JP 2019-003029 A	10 Jan. 2019	(Family: none)	
JP 2018-006638 A	11 Jan. 2018	(Family: none)	
US 2017/0214216 A1	27 Jul. 2017	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/125(2006.01)i; H01S 5/026(2006.01)i FI: G02B6/125 301; H01S5/026 618		
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）） G02B6/12-6/14; 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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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 2019-083268 A (日本電信電話株式会社) 30.05.2019 (2019-05-30) 段落[0008], [0018]-[0026], [0039], 図1	1-2, 4
Y		3, 5
Y	US 2015/0378100 A1 (ALCATEL-LUCENT USA, INC.) 31.12.2015 (2015-12-31) 段落[0021]-[0027], 図1A-1B	3
Y	WO 2012/011370 A1 (日本電気株式会社) 26.01.2012 (2012-01-26) 第5ページ第3-8行, 図1, 4	5
Y	US 2019/0207362 A1 (FINISAR CORPORATION) 04.07.2019 (2019-07-04) 段落[0121]-[0125], 図15-16	5
A	JP 2019-003029 A (日本電信電話株式会社) 10.01.2019 (2019-01-10) 段落[0046]-[0052], 図6	1-5
A	JP 2018-006638 A (日本電信電話株式会社) 11.01.2018 (2018-01-11) 段落[0014]-[0019], 図1-2	1-5
A	US 2017/0214216 A1 (ALCATEL LUCENT USA, INC.) 27.07.2017 (2017-07-27) 段落[0043], 図1a-3	1-5
<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 07.09.2021	国際調査報告の発送日 21.09.2021	
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） 野口 晃一 2L 5708 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

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/JP2021/024936

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-083268 A	30.05.2019	(ファミリーなし)	
US 2015/0378100 A1	31.12.2015	WO 2015/198129 A1	
WO 2012/011370 A1	26.01.2012	US 2013/0121639 A1	
		段落[0033], 図1, 4	
US 2019/0207362 A1	04.07.2019	EP 3391482 A1	
		CN 108701962 A	
		WO 2017/106880 A1	
JP 2019-003029 A	10.01.2019	(ファミリーなし)	
JP 2018-006638 A	11.01.2018	(ファミリーなし)	
US 2017/0214216 A1	27.07.2017	(ファミリーなし)	