(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
2017年11月2日(02.11.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/188364 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/042 (2006.01)　*G01N 21/17* (2006.01)
A61B 3/10 (2006.01)　*H01S 5/50* (2006.01)
G01N 21/01 (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2017/016689

(22) 国際出願日：　2017年4月27日(27.04.2017)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

(30) 優先権データ：
特願 2016-091615　2016年4月28日(28.04.2016)　JP

(71) 出願人：キヤノン株式会社 (**CANON KABUSHIKI KAISHA**) [JP/JP]；〒1468501 東京都大田区下丸子３丁目３０番２号 Tokyo (JP).

(72) 発明者：吉岡　毅 (**YOSHIOKA Takeshi**)；〒1468501 東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).

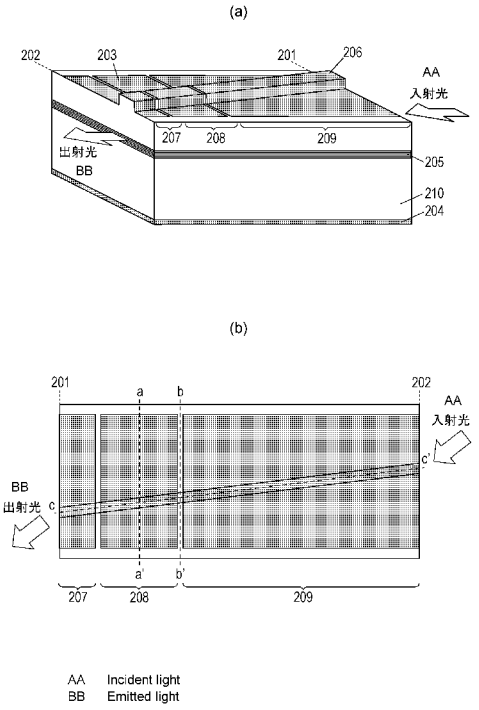
(74) 代理人：阿部　琢磨，外 (**ABE Takuma** et al.)；〒1468501 東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).

(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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) **Title:** OPTICAL AMPLIFIER, OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY DEVICE COMPRISING OPTICAL AMPLIFIER, AND OPTICAL AMPLIFICATION METHOD USING OPTICAL AMPLIFIER

(54) 発明の名称：光増幅器、それを備える光干渉断層計、及び光増幅器を用いた光増幅方法



(57) **Abstract:** An optical amplifier that has a laminate body that includes two electrode layers and an active layer that is provided between the electrode layers. The laminate body has a waveguide through which light is guided in the planar direction of the active layer. Light that is incident on the laminate body passes through the waveguide and is amplified and emitted from a planar-direction end-surface side of the laminate body. At least one of the two electrode layers has an electrode group that includes two or more electrodes that are provided so as to be separated in the waveguiding direction of the waveguide. The optical amplifier uses the two or more electrodes to independently inject current into a plurality of different regions of the active layer and can thereby change the amplification factor of the incident light in accordance with the wavelength of the incident light. The present invention provides an optical amplifier that can reduce ASE light that includes light of unnecessary wavelengths while achieving sufficient optical output intensity at a necessary wavelength.

WO 2017/188364 A1

[続葉有]

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：２つの電極層と、それらの間に設けられた活性層とを含む積層体を有し、前記積層体は、前記活性層の面内方向に光が導波される導波路を有し、前記積層体への入射光が、前記導波路を経て、前記積層体の面内方向の端面側から増幅されて射出される光増幅器であって、前記２つの電極層の少なくともいずれか一方は、前記導波路の導波方向に分離されて設けられた２つ以上の電極を含む電極群を有し、前記光増幅器は、前記２つ以上の電極を用いて、前記活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入することで、前記入射光の波長に応じて、前記入射光の増幅率を変化させることが可能に構成されている光増幅器。必要な波長において十分な光出力強度を得つつ、不必要な波長の光を含むＡＳＥ光を低減可能な光増幅器を提供すること。

明　細　書

発明の名称 ：

光増幅器、それを備える光干渉断層計、及び光増幅器を用いた光増幅方法

技術分野

[0001] 本発明は、波長可変光源から出る光を増幅する光増幅器、それを備える光干渉断層計、及び光増幅器を用いた光増幅方法に関する。

背景技術

[0002] 眼底などの撮像装置として、光干渉断層計（Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｃｏｈｅｒｅｎｃｅ　Ｔｏｍｏｇｒａｐｈｙ、以下ＯＣＴという）が知られている。特に、波長可変光源を用いたＯＣＴ（Ｓｗｅｐｔ　Ｓｏｕｒｃｅ　ＯＣＴ、以下ＳＳ－ＯＣＴと略すことがある）が注目されている。ＳＳ－ＯＣＴは、波長可変光源から出た光を物体へ照射する照射光と、参照光とに分け、参照光と、物体の異なる深さから戻ってくる反射光とを干渉させる。そして、干渉光の強度の時間波形（干渉信号）に含まれる周波数成分を分析することで、物体の断層に関する情報、具体的には断層像を得ることができる。ＯＣＴは、例えば眼科、循環器科、皮膚科、半導体チップの検査等の工業用途で用いられている。

[0003] 波長可変光源の１つとして、垂直共振器型の面発光レーザ（Ｖｅｒｔｉｃａｌ　Ｃａｖｉｔｙ　Ｓｕｒｆａｃｅ　Ｅｍｉｔｔｉｎｇ　Ｌａｓｅｒ、ＶＣＳＥＬ）を構成する２枚の反射鏡のうちの片方を変位させて発振波長を変える波長可変光源が知られている。ミラーを動かすための機構としては、ＭＥＭＳを用いたものが知られている。以下、このような波長可変光源をＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬと呼ぶことがある。ＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬは、高速に波長可変可能であり、かつコヒーレンス長を長くできることが知られているため、ＳＳ－ＯＣＴに用いる波長可変光源として好適である。

[0004] ここで、十分なＳ／Ｎ比のＯＣＴ信号を得るために、ＯＣＴに用いられる光源は必要な強度の光出力が得られることが好ましい。しかし、波長可変光

源として、ＶＣＳＥＬ単体を用いた場合、必要な強度の光出力を得ることは難しい。そこで、非特許文献１では、ＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬから出た光を、光増幅器（ＢＯＡ、Ｂｏｏｓｔｅｒ　ＯｐｔｉｃａｌＡｍｐｌｉｆｉｅｒ）を用いて誘導増幅させることで、必要な光出力強度を得ている。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Ｊｏｕｒｎａｌ　ｏｆ　Ｌｉｇｈｔｗａｖｅ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ　３３（１６）ｐ．３４６１－３４６８

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ここで、本発明者は、非特許文献１に開示のＢＯＡを用いた光出力強度の増幅には課題があることを見出した。すなわち、ＢＯＡを用いて増幅するときに、ＢＯＡ自体からＡＳＥ（Ａｍｐｌｉｆｉｅｄ　Ｓｐｏｎｔａｎｅｏｕｓ　Ｅｍｉｓｓｉｏｎ）光が発生してしまう。ＡＳＥ光はＢＯＡ自体から発生する自然放出光であり、ＡＳＥ光には、増幅させたい波長以外の波長の光が含まれる。そのため、ＡＳＥ光を含む光が照射されて得られたＯＣＴ信号にはノイズが含まれてしまう。

[0007] 非特許文献１では、時間的に波長が変化する入射光に対するＢＯＡの増幅率を、時間的に変化させることが記載されている。ＢＯＡに注入する電流量を大きくすることで増幅率を上げ、ある波長において必要な強度の光を得ることができる。しかし、電流量の調整だけでは、ある波長における必要な光出力強度が得られても、不必要な波長の光を含むＡＳＥ光の強度も大きくなってしまう場合がある。非特許文献１には、このような、ＢＯＡのＡＳＥ光を低減するための制御について何ら開示がない。

[0008] そこで本発明は、上記課題に鑑み、必要な波長において十分な光出力強度を得つつ、不必要な波長の光を含むＡＳＥ光を低減可能な光増幅器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

[0009] 本発明に係る光増幅器は、２つの電極層と、それらの間に設けられた活性層とを含む積層体を有し、前記積層体は、前記活性層の面内方向に光が導波される導波路を有し、前記積層体への入射光が、前記導波路を経て、前記積層体の面内方向の端面側から増幅されて射出される光増幅器であって、前記２つの電極層の少なくともいずれか一方は、前記導波路の導波方向に分離されて設けられた２つ以上の電極を含む電極群を有し、前記光増幅器は、前記２つ以上の電極を用いて、前記活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入することで、前記入射光の波長に応じて、光の増幅率を変化させることが可能に構成されている。

発明の効果

[0010] 本発明に係る光増幅器によれば、光増幅器を構成する積層体の電極層の少なくともいずれか一方を複数に分割することによって、光増幅器の増幅率に加えて、増幅される領域を変えることができる。そのため、必要な波長において十分な光出力強度を得つつ、不必要な波長の光を含むＡＳＥ光を低減できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の実施形態１の波長掃引光源とＳＯＡの構成例を説明する図。

[図2]本発明の実施形態１のＳＯＡの（ａ）斜視図、（ｂ）上面図。

[図3]本発明の実施形態１のＳＯＡの（ａ）上面図の電極領域（ａ－ａ‘断面）と（ｂ）非電極領域（ｂ－ｂ’断面）の断面図、（ｃ）光導波路（ｃ－ｃ‘断面）の断面図。

[図4]１０６０ｎｍ帯ＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬの掃引スペクトルを表すグラフ。

[図5]本発明の実施形態１のＳＯＡにおいて目標とする射出光の掃引スペクトルを表すグラフ。

[図6]本発明の実施形態１のＳＯＡの活性層の利得スペクトルを表すグラフ。

[図7]本発明の実施形態１のＳＯＡにおけるキャリア密度Ｎと対象波長範囲において得られる正の利得の総和∫ｇ（Ｎ）との関係を表すグラフ。

[図8]本発明の実施形態１のＳＯＡにおけるキャリア密度Ｎと得られる利得ｇ（Ｎ、λ＝１０４０）との関係を表すグラフ。

[図9]本発明の実施形態１のＳＯＡにおけるキャリア密度Ｎとｇ（Ｎ、λ＝１０４０）／∫ｇ（Ｎ）との関係を表すグラフ。

[図10]本発明の実施形態１のＳＯＡにおける入射光波長λと最適駆動状態とするためのＬ$_g$、Ｎ$_g$、Ｎ$_a$との関係を表すグラフ。

[図11]本発明の実施形態１のＳＯＡにおける入射光波長λと最適駆動状態とするための各電極領域におけるキャリア密度Ｎとの関係を表すグラフ。

[図12]本発明の実施形態１のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとにおいて波長λと入射光波長（ａ）１０３０、（ｂ）１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌとの関係を表すグラフ。

[図13]本発明の実施形態２のＳＯＡの俯瞰図。

[図14]本発明の実施形態２のＳＯＡにおける入射光波長λと最適駆動状態とするための各電極領域におけるキャリア密度Ｎとの関係を表すグラフ。

[図15]本発明の実施形態２のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとにおいて波長λと入射光波長（ａ）１０３０、（ｂ）１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌとの関係を表すグラフ。

[図16]本発明の実施形態３のＳＯＡの俯瞰図を表すグラフ。

[図17]本発明の実施形態２のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとにおいて波長λと入射光波長（ａ）１０３０、（ｂ）１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌとの関係を表すグラフ。

[図18]本発明の実施形態４のＳＯＡにおいて目標とする射出光の掃引スペクトルを表すグラフ。

[図19]本発明の実施形態４のＳＯＡにおける入射光波長λと最適駆動状態とするためのＬ$_g$、Ｎ$_g$、Ｎ$_a$との関係を表すグラフ。

[図20]本発明の実施形態４のＳＯＡにおける入射光波長λと最適駆動状態とするための各電極領域におけるキャリア密度Ｎとの関係を表すグラフ。

[図21]本発明の実施形態２のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとにおいて波長λと

入射光波長（ａ）１０３０、（ｂ）１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌとの関係を表すグラフ。

[図22]本発明のＳＯＡを用いた実施形態５における光干渉断層撮像装置の構成例を説明する図。

[図23]本発明の実施形態３のＳＯＡにおける最適利得長に近くなる電極の長さの組み合わせ例とそれぞれの電極領域における最適駆動状態とするためキャリア密度Ｎをまとめた表。

発明を実施するための形態

[0012] 本発明の実施形態に係る光増幅器について説明するが、本発明はこれらに限られない。

[0013] （光増幅器）

本実施形態に係る光増幅器は、２つの電極層と、それらの間に設けられた活性層とを含む積層体の構造を有する。積層体の一例として、下部電極層、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層、コンタクト層、上部電極層の順に有する構造が挙げられる。積層体が半導体で構成させるものは、半導体光増幅器（Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ Ｏｐｔｉｃａｌ Ａｍｐｌｉｆｉｅｒ、以下ＳＯＡと略すことがある）と呼ばれる。以下では、ＳＯＡに入射する光を入射光、ＳＯＡから出る光を射出光と呼ぶことがある。

[0014] また、ＳＯＡに光が入射される側の積層体の端面を入射端面、光が射出される側の端面を射出端面と呼ぶことがある。

[0015] この積層体は、活性層の面内方向に光が導波される導波路を有し、積層体の面内方向の端面側（入射端面側）への入射光が、導波路を経て、積層体の面内方向のもう一方の端面側（射出端面側）から増幅されて射出される。導波路構造は例えば、上部電極層、上部コンタクト層、上部クラッド層がリッジ構造を形成してなるリッジ導波路が挙げられる。

[0016] また、活性層の上下に設けられた２つの電極層の少なくともいずれか一方は、導波路の導波方向に分離されて設けられた２つ以上の電極からなる電極群を有している。

[0017] 本実施形態に係る光増幅器は、電極群を構成する２つ以上の電極を用いて、活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入することで、入射光の波長に応じて、光の増幅率を変化させることが可能に構成されている。

[0018] なお、活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入するための制御部を有していても良い。

[0019] （入射光の波長に応じた光増幅率の制御）

本実施形態に係る光増幅器は、入射光の波長に応じて、入射光の増幅率を変化させることにより、必要な波長のみを選択的に増幅させて十分な光出力強度を得つつ、それ以外の不必要な波長の光を含むＡＳＥ光の発生を極力抑えることが出来る。例えば、入射光のうち波長λ_1の光を増幅させたい場合は、光増幅器への電流注入量を調整して、λ_1の波長の光が、光増幅器から十分な光出力強度をもって射出されるようにする。射出される光に、不必要な波長を含むＡＳＥ光が含まれてしまう場合は、光増幅器に電流が注入されて光が増幅される領域を短くして、λ_1以外の波長の光を含むＡＳＥ光の発生を低減する。すなわち、光増幅器への電流注入量（電流密度）に加えて、光が増幅される領域を変えることで、特定の波長を増幅させ、それ以外の波長の増幅を抑制させることができる。光が増幅される領域を調整できるのは、上記積層体を構成する電極層が複数の電極に分離されて設けられ、電流注入を独立に制御できるからである。各電極への電流注入量の制御は、制御部によって制御される。光増幅器と制御部とを合わせて光源システムと呼んでも良い。

[0020] なお、光が増幅される領域を利得長と言い換えることができる。

[0021] ここで、入射光の波長において利得が正である、導波路内の領域を利得領域、導波路に沿った利得領域の合計長さが利得長と定義される。具体的には、入射光の波長が、長波長であるほど利得長を長くすることで、長波長の光を選択的に増幅可能であり、短波長であるほど利得長を短くすることで、短波長の光を選択的に増幅可能である。利得長を短くする方法としては、活性層に注入するために用いられる電極を減らす方法がある。したがって、短波

長であるほど光増幅器の活性層に電流注入するための電極の数を少なくすることで、短波長の光を選択的に増幅可能である。逆もまた同様である。

[0022] また、活性層に注入される電流の電流密度が大きいと、短波長の光を増幅しやすく、長波長の光を増幅しにくくなるため、入射光の波長が短いほど、活性層に注入される電流密度を大きくすることが好ましい。

[0023] なお、光増幅器から射出される光の波長の時間変化の波形（スペクトル形状）は、略ガウシアン形状、略コサインテーパ形状のいずれかであることが好ましい。なぜなら、そのようなスペクトル形状の光がＯＣＴの測定光として用いられると、ノイズの少ないＯＣＴ像が得られやすいからである。

[0024] ここで、略ガウシアン形状、略矩形形状、略コサインテーパ形状とは、ガウシアン形状、コサインテーパ形状だけでなく、ＯＣＴ像に大きなノイズがのらない範囲で、ガウシアン形状、コサインテーパ形状から少しずれた形状を含む概念である。

[0025] また、電極群が少なくとも３つの電極から構成され、電極群のうち少なくとも１つの電極に電流が注入されない場合に、電流が注入されないその電極は、積層体の入射端面に最も近い位置に設けられた電極ではないことが好ましい。

[0026] また、電流が注入されない電極は光が射出される端面に最も近い位置に設けられた電極であることが好ましい。

[0027] また、電極群の電流密度が略同一になるように構成されていることが好ましい。

[0028] １つの光幅器における利得は、主に電極領域における電流密度により時間的に変化させることができる。光導波路上の領域のうち、入射光の中心波長における利得が正である領域を利得領域、ゼロ以下である領域を非利得領域とする。

[0029] 以下、本発明の実施形態に係る光増幅器について、具体構成を挙げて詳細を説明する。以下の実施形態で挙げる構成、寸法、材料、制御方法は１つの例であり、本発明はこれに限定されるものではない。

[0030] なお、以下では光増幅器としてＳＯＡ、光源として、射出する光の波長をＭＥＭＳ機構で掃引する波長掃引光源、を用いた構成を例に説明する。

[0031] また以下では、ＭＥＭＳ機構で波長掃引する波長掃引光源としては、前述のＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬを例に説明する。本例のＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬは、ＶＣＳＥＬの共振器を構成する一方のミラー（ＭＥＭＳミラーと呼ぶことがある）を静電引力で変位させる構成である。

[0032] （実施形態１）

以下に本発明の実施形態１を示す。

[0033] 本実施形態におけるＳＯＡと、波長掃引光源について、図１を用いて説明する。

[0034] まず、波形発生装置（ｆｕｎｃｔｉｏｎ ｇｅｎｅｒａｔｏｒ）１０１から、波長掃引光源１０２のＭＥＭＳ駆動を制御する電圧増幅器１０３と、ＳＯＡ１０４の駆動を制御する電流制御器（制御部）１０５に同じ信号を送る。こうすることで、波長掃引光源１０２のＭＥＭＳ駆動とＳＯＡ１０４の駆動を時間的に同期させることができる。したがって、あらかじめ波長掃引光源１０２のＭＥＭＳミラーの変位を制御するための電圧値と発振波長との関係を把握しておくことで、発振波長に応じてＳＯＡ１０４の駆動電流値を制御することができるようになる。

[0035] また、波長掃引光源１０２とＳＯＡ１０４との間には、波長掃引光源１０２への戻り光抑制のため、アイソレータ１０７が設けられる。

[0036] 次に、本実施形態におけるＳＯＡの構成を図２、３に示す。

[0037] 図２は本実施形態におけるＳＯＡの斜視図（ｂ）はＳＯＡの上面図である。図３（ａ）は本実施形態におけるＳＯＡの電極が設けられている領域（ａ－ａ‘断面）の断面図、（ｂ）は電極が設けられていない非電極領域（ｂ－ｂ’断面）の断面図である。図３（ｃ）は本実施形態におけるＳＯＡの光導波路（ｃ－ｃ‘断面）の断面図を示している。

[0038] なお、ＳＯＡは図１に示すように、全ての電極は駆動系（ドライバ）と接続されており、各電極領域に対してそれぞれ独立に、活性層に注入する電流

量（電流密度）を制御できる機構を備えている。

[0039] 次に、本実施形態に係るＳＯＡの製造手順を説明する。

[0040] まず、ＧａＡｓ基板２１０上に、ｎ型クラッド層２１１としてｎ－$Al_{0.9}GaAs$、を、例えばＭＯＣＶＤ（Ｍｅｔａｌ Ｏｒｇａｎｉｃ Ｃｈｅｍｉｃａｌ ＶａｐｏｒＤｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法を用いて順次エピタキシャル成長させる。同様にＭＯＣＶＤで、活性層２０５として単一量子井戸構造の$GaInAs_{0.3}$、ｐ型クラッド層２１２としてｐ－$Al_{0.9}GaAs$、コンタクト層２１３として高ドープのｐ－ＧａＡｓを、順次エピタキシャル成長させる。各層が積層されたウエハを一般的なフォトリソグラフィ法およびウェット／ドライエッチングにより、リッジ２０６を形成して光導波路を形成する。リッジ２０６を形成することにより、活性層内の導波路部分に光を閉じ込め、導波させることができる。たとえば、スパッタ法を用いてSiO_2を形成した後、フォトリソグラフィ法を用いてフォトレジストで光導波路形成のためのストライプ状マスクを形成する。その後、ウェットエッチングによりSiO_2、ドライエッチングによりマスク以外の部分の半導体を選択的に除去する。このとき、除去する部分はコンタクト層２１３とｐ型クラッド層２１２の途中までとする。光導波路幅は単一モードとするために３ｕｍの幅とする。入射端面２０１および射出端面２０２における反射を抑えるために、光導波路は端面付近で各端面の法線方向に対して約７度傾斜させている。

[0041] 次に、真空蒸着法およびフォトリソグラフィを用いてｐ電極２０３を形成する。ｐ電極２０３は、たとえばＴｉ／Ａｕであり、光導波路上に導波方向に対して直列にそれぞれが絶縁された状態で複数配置する。さらに、非電極領域のコンタクト層２１３をクエン酸過水を用いたウェットエッチングによる除去を行い、電気的に絶縁された領域とする。

[0042] ｎ電極２０４を形成する前に、基板２１０部分を研磨により１００μｍ程度の厚さまで薄くする。こうすることで、ファセット面での劈開が容易となる。そして、ｎ電極２０４を真空蒸着法により形成する。ｎ電極２０４は、たとえばＡｕＧｅ／Ｎｉ／Ａｕである。良好な電気特性を得るため、高温窒

素雰囲気中でアニールを行い、両電極と半導体を合金化する。最後に、劈開により入射端面２０１および射出端面２０２にファセット面を出すことでＳＯＡの素子が完成する。

[0043] 上記形成方法や半導体材料、電極材料、誘電体材料などは実施形態で開示したものに限るものではなく、本発明の主旨を外れないものであれば、他の方法や材料を利用することも可能である。たとえば、基板２１０はｐ型ＧａＡｓ基板を用いてもよく、その場合は各半導体層の導電型もそれに応じて変更させる。

[0044] 活性層２０５は単一量子井戸（ＳＱＷ）構造とした例を示しているが、複数の量子井戸をもつ多重量子井戸（ＭＱＷ）構造でもよい。ＭＱＷ構造は、組成および井戸幅が互いに同じであっても、複数の量子井戸のうち少なくとも１つの組成か井戸幅が異なる、非対称多重量子井戸（Ａ－ＭＱＷ）構造（非対称の量子井戸構造）でもよい。

[0045] また、量子井戸を構成する材料も前述のものに限られず、ＧａＡｓ、ＧａＩｎＰ、ＡｌＧａＩｎＮ、ＡｌＧａＩｎＡｓＰ、ＡｌＧａＡｓＳｂ等の発光材料を用いてもよい。

[0046] 活性層２０５は導波方向に対して単一厚さおよび単一組成としているが、本発明の効果が得られる範囲であればこれに限定されない。

[0047] 光導波路は直線形状、一定の幅、一定の屈折率が得られる形状としているが、本発明の効果が得られる範囲であればこれに限定されない。たとえば、曲がっているもしくは分岐されている光導波路形状であってもよく、光導波路の幅や屈折率が導波方向に変化するように構成されていてもよい。

[0048] また、ＳＯＡから出る光が、単一（シングル）モードとなるように光導波路幅は３μｍとした例を示しているが、多（マルチ）モードとなるようにしても良い。

[0049] また、光導波路としてリッジ型光導波路を採用した例を示しているが、たとえばストライプ型の活性層、もしくは電流ブロック層を導入して、電流もしくは光を閉じ込める形態としてもよい。

[0050] 本実施形態におけるＳＯＡは、入射端面、射出端面の、各端面における反射を抑えるために、光導波路は端面付近で各端面の法線方向に対して約７度傾斜させた例を示しているが、本発明の効果が得られる範囲であれば７°に限定されない。

[0051] 本実施形態では電極群に含まれる電極の数は３つとした例を示しているが、本発明の効果が得られる要件を満たす電極数（２つ以上）であればこれに限定されない。

[0052] 入射端面２０１もしくは射出端面２０２もしくはその両方の端面における光、および電流の集中を抑えるために、端面付近に非利得領域（窓構造）を形成する構成としてもよい。

[0053] 入射端面２０１もしくは射出端面２０２もしくはその両方の端面での反射を抑えるために、端面に反射防止（ＡＲ）膜を形成してもよい。

[0054] ｐ電極２０３を導波方向に対して直列に複数配置した例を示しているが、ｎ電極２０４もしくは両方の電極が複数配置されている構成であってもよい。

[0055] 非電極領域の長さは導波路上で一定とした例を示しているが、本発明の効果が得られる範囲であればこれに限定されない。

[0056] 次に、複数の電極の駆動状態を説明する。

[0057] なお、以下ではキャリア密度によりＳＯＡの駆動状態を規定しているが、実際には利得領域および非利得領域におけるキャリア密度が所望の値となるように各電極領域における電流密度を調整する。

[0058] 本実施形態では入射光として、１０６０ｎｍ付近に中心波長をもつ、ＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬの掃引スペクトル（図４）、目標とする射出光として、次式に示す掃引スペクトル形状（図５に実線で表示）を想定している。図４はＥｌｅｃｔｒｏｎ Ｌｅｔｔ ２０１２Ｏｃｔ １１ ４８（２１） １３３１－１３３３を引用している。

[0059]

[数1]

$$\text{(i)} \quad 1010 \leqq \lambda\,[\mathrm{nm}] \leqq 1080 :$$

$$P = 20 \cdot \exp\left[-\frac{(\lambda - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$\sigma = \frac{(\mathrm{FWHM})}{\sqrt{2\ln 2}} = \frac{90}{\sqrt{2\ln 2}}$$

$$\mu = 1060$$

[0060] [数2]

$$\text{(ii)} \quad \lambda\,[\mathrm{nm}] < 1010、1080 < \lambda\,[\mathrm{nm}] :$$

$$P = 0$$

[0061] ここで、λ：波長、Ｐ：光強度である。

[0062] この掃引スペクトルは、入射光における掃引波長範囲（１０１０～１０８０ｎｍ）においては、中心波長１０６０ｎｍ、中心波長における光強度２０ｍＷ、半値全幅９０ｎｍのガウシアン形状（図５に点線で表示）である。それ以外の波長範囲においては、光強度０ｍＷとした形状である。

[0063] また、本実施形態では図２に示すように３電極構成とし、電極領域の区分で利得領域と非利得領域に分けた場合、複数の利得領域はそれぞれ同一のキャリア密度とする。さらに、非利得領域では入射光波長における利得がゼロとなるキャリア密度とする。

[0064] ＳＯＡにおいて、入射光の掃引スペクトルを目標とする掃引スペクトルとして射出するためには、次の式を満たす状態とする必要がある。

[0065] [数3]

$$P_{out}(\lambda) = P_{in}(\lambda) \cdot \exp[g(N,\lambda) \cdot L_g \cdot \Gamma] \quad \cdots \quad 式\ A$$

[0066] ここで、λ：波長（１０１０～１０８０ｎｍ）、P_{in}（λ）：波長λにおける入射光強度、P_{out}（λ）：波長λにおける射出光強度とする。

[0067] また、ｇ（Ｎ、λ）：キャリア密度Ｎのときの波長λにおけるＳＯＡの利得、L_g：ＳＯＡの利得領域の合計長さ、Γ：ＳＯＡの光導波路における閉じ込め係数である。以下では、Γ＝０．０３とした計算結果を示す。

[0068] 本実施形態のＳＯＡの活性層における利得スペクトルを図６に示す。

[0069] また、これをもとにして、キャリア密度Ｎと対象波長範囲において得られる正の利得の総和∫ｇ（Ｎ）との関係を求めた（図７）。∫ｇ（Ｎ）は、対象波長範囲においてキャリア密度ＮにおけるＳＯＡ自体から発生する利得領域の単位長さあたりのＡＳＥ光の総量を表す指標として用いている。

[0070] たとえば、入射光波長１０６０ｎｍにおける最適駆動状態の導出方法を以下に示す。

[0071] 最適駆動状態とは、所望の掃引スペクトルを形成するように、ある波長の入射光（この場合は波長１０６０ｎｍ）を増幅させ、かつＡＳＥ光を極力低減させる駆動状態を指す。ここでいう駆動状態とは、各電極領域の長さとそれらの電極領域におけるキャリア密度の組み合わせを指す。つまり、利得領域の合計長さ（利得長）とキャリア密度をそれぞれL_g、N_g、非利得領域の合計長さ（非利得長）とキャリア密度をそれぞれL_a、N_aとすると、最適駆動状態を決定するためにはこれら４つの値を決定する必要がある。

[0072] まず、最適駆動状態とするためのN_g、N_aを求める。

[0073] 波長１０６０ｎｍにおけるキャリア密度Ｎと得られる利得ｇ（Ｎ、λ＝１

０６０）との関係を図８に示す。次にこれをもとにして、ｇ（Ｎ、λ＝１０６０）／∫ｇ（Ｎ）を計算した結果を図９に示す。ｇ（Ｎ、λ）／∫ｇ（Ｎ）は、対象波長範囲におけるＡＳＥ光の総量に対する波長λにおける利得の大きさを表しており、この値が大きいほどＡＳＥ光の量を抑えながら波長λの入射光を効率よく増幅できることを意味している。図９においてｇ（Ｎ、λ＝１０６０）／∫ｇ（Ｎ）の値が最大となるのは、Ｎが２．２Ｅ＋１８／ｃｍ^{3}のときであるので、入射光波長が１０６０ｎｍのとき、最適駆動状態とするためのN_gは２．２Ｅ＋１８／ｃｍ^{3}と決定される。一方、最適駆動状態とするためのN_aは、波長１０６０ｎｍにおける利得がゼロとなるキャリア密度とするので、図８よりｇ（Ｎ、λ＝１０６０）＝０となる１．８Ｅ＋１８／ｃｍ^{3}と決定される。

[0074] 次に、最適駆動状態とするためのL_gを求める。

[0075] この長さは式Ａに、図４よりP_{in}（λ＝１０６０）＝１．５５［ｍＷ］、図５よりP_{out}（λ＝１０６０）＝２０［ｍＷ］、図６よりｇ（Ｎ＝２．２Ｅ＋１８、λ＝１０６０）＝５９７［／ｃｍ］、Γ＝０．０３の値を代入して得られる。その結果、L_g＝１４２９［μｍ］が導出される。

[0076] 以上より、入射光波長１０６０ｎｍにおける最適駆動状態は、N_g＝２．２Ｅ＋１８［／ｃｍ^3］、N_a＝１．８Ｅ＋１８［／ｃｍ^3］、L_g＝１４２９［μｍ］と決定される。

[0077] 同様にして、対象波長範囲である１０１０～１０８０ｎｍに対して最適駆動状態とするためのL_g、N_g、N_aを求めた結果を図１０に示す。基本的には、入射光が長波長であるほど、最適駆動状態とするためのL_gは長く、N_gとN_aは低くなる傾向がある。

[0078] 本実施形態では電極の数を３つとするので、少なくとも入射光のうち３波長においては最適な利得長とすることができる。たとえば入射光波長１０１０、１０４０、１０８０ｎｍにおいて最適な利得長とするように最適駆動状態を設定することを考える。入射光波長１０１０、１０４０、１０８０ｎｍにおける、最適駆動状態とするためのL_gは図１０よりそれぞれ、４１７、９

２０、３６３０μｍである。したがって、第ｎ電極の長さをL_nとすると、図３におけるL_1、L_2、L_3を４１７、５０４、２７０９μｍ（順不同）とすると、組み合わせにより選択した３種類の入射光波長に対してそれぞれ最適駆動状態とするためのL_gがとれることになる。そして、$L_a = L_1 + L_2 + L_3 - L_g$より$L_a$を決定することができる。

[0079] 一方、選択した３波長以外の波長においては最適駆動状態とするための利得長をとることができないが、電極長の組み合わせにより最も近くなる組み合わせを考えることで、最適駆動状態に近づけることができる。

[0080] 以上より、第ｎ電極領域におけるキャリア密度をN_nとしたとき、入射光波長λに対する最適駆動状態とするためのN_1、N_2、N_3、L_gをまとめると図１１のようになる。

[0081] なお、N_gを黒丸、N_aを白丸で各プロット点を示す。

[0082] 本実施形態の駆動状態におけるＳＯＡと、単電極構成ＳＯＡとで、たとえば入射光波長１０３０、１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌを比較すると、それぞれ図１２（ａ）、（ｂ）のようになる。これより、同じ入射光波長で比較すると、本実施形態の駆動状態におけるＳＯＡの方が単電極構成ＳＯＡよりＳＯＡ自体から発生するＡＳＥ光の量を大幅に低減できていることが分かる。

[0083] 本実施形態では目標とする射出光として、中心波長１０６０ｎｍ、中心波長における光強度２０ｍＷ、半値全幅９０ｎｍのガウシアン形状の掃引スペクトルを想定して計算した例を示している。しかし本実施形態では、中心波長、中心波長における光強度、半値全幅、掃引スペクトル形状はこれに限定されない（矩形形状に関しては実施形態４参照）。

[0084] 複数の利得領域はそれぞれ同一のキャリア密度とする例を示しているが、それぞれのキャリア密度は同一としなくても効果が得られる範囲が存在する。

[0085] 非利得領域は入射光波長における利得がゼロとなるキャリア密度とした例を示しているが、入射光波長に対する利得がゼロ以下であれば効果があり、

ゼロもしくは逆バイアスで駆動させてもよい。

[0086] また、非利得領域のキャリア密度をゼロとする場合、必要でなければ非利得領域と駆動系とを接続しない構成、もしくは非利得領域に電極を形成しない構成としてもよい。

[0087] 最適駆動状態とする入射光波長を１０１０、１０４０、１０８０ｎｍとした例を示しているが、対象波長範囲内であればこの波長に限定されない。ただし、対象波長範囲内でばらつかせるように設定することが好適構成となる。

[0088] 電極は３電極構成とした例を示しているが、２つ以上であれば本発明の効果が得られる（２電極構成に関しては実施形態２参照）。

[0089] 短い長さ（たとえば１０μｍ）の電極を多数配置する構成としてもよい。こうすることで、より最適駆動状態とするための利得長に近づけることが可能となる（利得領域を細かく設定できる電極構成に関しては実施形態３参照）。ただし、この構成とした場合、非電極領域における吸収が大きくなり、電極構成や駆動状態の制御が困難となる場合がある。

[0090] 本実施形態ではL_1＝４１７［μｍ］、L_2＝５０４［μｍ］、L_3＝２７０９［μｍ］とした例を示したが、電極の長さとその電極のキャリア密度をセットとし、デバイス内でそれぞれ入れ替えても同じ効果が得られる。

[0091] 本実施形態ではL_1＝４１７［μｍ］、L_2＝５０４［μｍ］、L_3＝２７０９［μｍ］とした例を示したが、たとえば、L_1＝４１７［μｍ］、L_2＝９２０［μｍ］、L_3＝２２９３［μｍ］としても、所望の利得長をとることができる。

[0092] 電極は３電極構成とした例を示しているが、さらに多い場合でも実質的に同じ駆動状態であれば同じ効果が得られる。例えば、図１１の入射光波長１０１０ｎｍにおける駆動状態（L_1＝４１７［μｍ］、L_2＝５０４［μｍ］、L_3＝２７０９［μｍ］、N_1＝８．０Ｅ＋１８［／ｃｍ^3］、N_2＝N_3＝３．０Ｅ＋１８［／ｃｍ^3］）を変えても良い。例えば、L_1＝２００［μｍ］、L_2＝２１７［μｍ］、L_3＝５０４［μｍ］、L_4＝２７０９［μｍ］、Ｎ

$_1$＝N_2＝８．０Ｅ＋１８［／ｃｍ^3］、N_3＝N_4＝３．０Ｅ＋１８［／ｃｍ^3］へと変えても、実質的には同じ駆動状態と見なせる。

[0093] 駆動状態に影響が及ばなければ、L_aは長く設計してもかまわない。ただし、長くすると不必要なＡＳＥ光の量が大きくなるため、極力短くすることが望ましい。

[0094] （ＳＯＡの利得スペクトルの制御方法）

上記本実施形態に係るＳＯＡと波長掃引光源の別の構成例について説明する。

[0095] 本構成例ではまず、波長掃引光源１０２を駆動させ、出射された光をビームスプリッタ（不図示）で分波する。分波された光の一部をモニタ光としてラインセンサ（不図示）で検出し、モニタ光の中心波長に対応する信号を制御部１０５に送信する。そして、その信号に基づいてＳＯＡ１０４の各電極へ電流を注入する。このような構成により、ＳＯＡ１０４を実際に波長掃引光源から射出された光の波長に対応する利得スペクトルに制御できる。

[0096] また、あらかじめ、波長掃引光源１０２のＭＥＭＳミラーの変位を制御するための電圧値と発振波長との関係を把握しておく構成としてもよい。すなわち、波長掃引光源１０２のＭＥＭＳ駆動を制御する電圧増幅器（不図示）とＳＯＡの電流制御器１０５に波形発生装置１０１から同じ信号を送り、ＳＯＡを波長掃引光源からの射出光に対応する利得スペクトルとなるよう制御してもよい。

[0097] また、波長掃引光源１０２から射出される光の波長の時間変化と、射出された光の各波長に適した光増幅をするために、ＳＯＡに注入する必要がある電流値との対応関係をテーブルとして記憶したメモリ（不図示）を有する構成でもよい。

[0098] （光増幅方法）

上記本実施形態に係る光増幅器を用いて入射光を増幅する光増幅方法について説明する。本実施形態に係る光増幅方法は実施形態１で説明したような半導体光増幅器を用いる。具体的には半導体光増幅器を構成する少なくとも

いずれか一方の電極層は、半導体光増幅器の光の導波路の導波方向に分離された、２つ以上の電極を含む電極群を有するものである。

[0099] 本実施形態における光増幅方法は、以下の３つの工程を少なくとも有する。

（１）半導体光増幅器へ光を入射させる入射工程。

（２）半導体光増幅器へ入射した入射光の強度を増幅させる増幅工程。

（３）増幅工程で強度が増幅された光を、前記半導体光増幅器から射出させる射出工程。

（３）の増幅工程は、半導体光増幅器の２つ以上の電極を用いて、半導体光増幅器の活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入することで、入射光の波長に応じて、光増幅倍率を変える工程を有する。

[0100] また、入射光の波長において活性層の利得が正である、導波路内の領域を利得領域、導波路に沿った利得領域の合計長さを利得長と定義する。このとき増幅工程は、入射光の波長に応じて、利得長を変える工程を有することが好ましい。

[0101] また、増幅工程は、入射光の波長が短いほど利得長を短くする工程を有することが好ましい。

[0102] また、増幅工程は、入射光の波長が短いほど、活性層のキャリア密度が大きくなるように電流を活性層に注入する工程を有する。

[0103] また、増幅工程は、入射光の波長が短いほど、利得領域を短くする工程を有する。

[0104] （実施形態２）

以下に本発明の実施形態２を示す。

[0105] 本実施形態におけるＳＯＡの素子構成の上面図を図１３に示す。本実施形態においては、電極構成および駆動状態を除いて実施形態１と同一である。そのため、実施形態１との差分のみを説明する。

[0106] 本実施形態では、上部の電極層が２つの電極を含む電極群を有していることを特徴とする。これにより、最適駆動状態の導出と実際の駆動をより簡易

に実行することができるようになる。

[0107] 本実施形態ではたとえば１０２０、１０７０ｎｍに対して最適駆動状態にできるように電極の長さを設計することを考える。

[0108] 実施形態１に示した方法により最適駆動状態を導出し、入射光波長λに対する最適駆動状態とするためのN_1、N_2、L_gをまとめると図１４のようになる。

[0109] なお、N_gを黒丸、N_aを白丸で各プロット点を示す。ただし、ここで示している電極構成（L_1＝３２１［μｍ］、L_2＝３３０９［μｍ］）は１例であり、電極の長さとその電極に対応する駆動状態を入れ替えても同様の効果が得られる。

[0110] 本実施形態のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとで、たとえば入射光波長１０３０、１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌを比較すると、それぞれ図１５（ａ）、（ｂ）のようになる。これより、同じ入射光波長で比較すると、本実施形態のＳＯＡの方が単電極構成ＳＯＡよりＳＯＡ自体から発生するＡＳＥ光の量を大幅に低減できていることが分かる。

[0111] （実施形態３）

以下に本発明の実施形態３を示す。

[0112] 本実施形態におけるＳＯＡの素子構成を図１６に示す。本実施形態においては、電極構成および駆動状態を除いて実施形態１と同一である。そのため、実施形態１との差分のみを説明する。

[0113] 本実施形態では、電極の長さを規則的に変化させた電極構成であることを特徴とする。こうすることで、組み合わせによる利得長および非利得長を実施形態１に対してより自由度を高く調整することができるようになる。

[0114] 実施形態１では、ある入射光波長に対して最適駆動状態とするための利得長がとれるように各電極の長さを設定したが、この構成だとそれら以外の波長においては最適駆動状態とするための利得長とすることができない。本実施形態では対象波長範囲の全ての入射光波長に対して、最適駆動状態とするための利得長により近い長さとなる電極の長さの組み合わせがとれるように

電極の長さを設計する。たとえば、$L_k = 2^m \cdot L_l$（k、l、m：自然数）を満たす電極をなるべく多くとる構成とする。具体的には図１６に示すように、L_1～L_8を２０、４０、８０、１６０、３２０、６４０、１２８０、１０９０μｍ（順不同）とする。これにより、最適駆動状態とするための利得長が最も大きな値となる入射光波長１０８０ｎｍにおいて最適駆動状態とするための利得長がとれる構成となる。それに加え、電極の長さの組み合わせにより、各入射光波長における最適駆動状態とするための利得長と、実際の利得長との差を１０μｍ未満に抑えることができるようになる。

[0115] 実施形態１に示した方法により最適駆動状態を導出し、入射光波長に対する最適駆動状態とするためのそれぞれの電極領域の長さとキャリア密度をまとめると図２３のようになる。ただし、ここで示している電極構成（L_1＝２０［μｍ］、L_2＝４０［μｍ］、L_3＝８０［μｍ］、L_4＝１６０［μｍ］、L_5＝３２０［μｍ］、L_6＝６４０［μｍ］、L_7＝１２８０［μｍ］、L_8＝１０９０［μｍ］）は１例である。前述の各電極の長さとその電極に対応する駆動状態を入れ替えても同様の効果が得られる。

[0116] なお、色を付けたキャリア密度は非利得領域におけるキャリア密度を表す。

[0117] 本実施形態のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとで、たとえば入射光波長１０３０、１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌを比較すると、それぞれ図１７（ａ）、（ｂ）のようになる。これより、同じ入射光波長で比較すると、本実施形態のＳＯＡの方が単電極構成ＳＯＡよりＳＯＡ自体から発生するＡＳＥ光の量を大幅に低減できていることが分かる。

[0118] 本実施形態では電極の最小単位を２０μｍとした例を示しているが、１０μｍや５０μｍや１００μｍといった値でも本実施形態と同様の効果が得られる。ただし、１０μｍ未満とした場合、非電極領域における吸収が大きくなり、電極構成や駆動状態の制御が困難となる場合がある。

[0119] $L_k = 2^m \cdot L_l$を満たす電極の長さの組を７とした例を示しているが、１組以上あれば本実施形態と同様の効果が得られる。

[0120] （実施形態４）

以下に本発明の実施形態４について説明する。

[0121] 本実施形態においては、目標とする射出光を除いて実施形態１と同一である。そのため、実施形態１との差分のみを説明する。よって、サンプル構成は図３に示すとおりだが、電極の長さや駆動状態は実施形態１と異なる。

[0122] 本実施形態における目標とする射出光は、波長１０１０～１０８０ｎｍにおいて光強度２０ｍＷである矩形形状の掃引スペクトル（図１８）を想定している。

[0123] 最適駆動状態の導出方法は実施形態１に示したとおりである。

[0124] 本実施形態ではたとえば１０１０、１０４０、１０８０ｎｍに対して最適駆動状態にできるように電極の長さを設計することを考える。

[0125] 対象波長範囲である１０１０～１０８０ｎｍに対して最適駆動状態とするためのL_g、N_g、N_aを求めた結果を図１９に示す。さらに、最適駆動状態を導出し、入射光波長λに対する最適駆動状態とするためのN_1、N_2、N_3、L_gをまとめると図２０のようになる。

[0126] なお、N_gを黒丸、N_aを白丸で各プロット点を示す。ただし、ここで示している電極構成（L_1＝４５８［μｍ］、L_2＝５０６［μｍ］、L_3＝２８７８［μｍ］）は１例であり、電極の長さとその電極に対応する駆動状態を入れ替えても同様の効果が得られる。

[0127] 本実施形態のＳＯＡと単電極構成ＳＯＡとで、たとえば入射光波長１０３０、１０６０ｎｍにおいて最適駆動状態としたｇ（Ｎ、λ）・Ｌを比較すると、それぞれ図２１（ａ）、（ｂ）のようになる。これより、同じ入射光波長で比較すると、本実施形態のＳＯＡの方が単電極構成ＳＯＡよりＳＯＡ自体から発生するＡＳＥ光の量が少ないことが分かる。

[0128] （実施形態５）

以下に本発明の実施形態５を示す。

[0129] 本実施形態の構成について、図２２を用いて説明する。本実施形態では、本発明のＳＯＡを用いたＯＣＴ装置の例を示す。

[0130] ＯＣＴ装置は、射出される光周波数が掃引される光源部３０１（ＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬ）と、光出力の増大と掃引スペクトル形状制御を行う光増幅器（ＳＯＡ）３０２と、その間のアイソレータ３０３とを有する。そして、干渉光を生成する干渉部３０４と、干渉光を受光して干渉信号を出力する信号出力部３０５と、該干渉信号に基づいて物体（被検体）の情報を取得する取得部３０６とを有している。さらに、ＯＣＴ装置は、測定アーム（照射光学系）３０７と参照アーム（参照光学系）３０８を有している。

[0131] 干渉部３０４は、２つのカプラ３１０、３１１を有している。まず、カプラ３１０は光源から射出された光を被検体３１２へ照射する照射光と参照光とに分岐する。照射光は、測定アーム３０７を経由して被検体３１２に照射される。より具体的には、測定アーム３０７に入射した照射光は偏光コントローラ３１３で偏光状態を整えられた後、コリメータ３１４から空間光として射出される。その後、照射光はＸ軸スキャナ３１５、Ｙ軸スキャナ３１６、フォーカスレンズ３１７を介して被検体３１２に照射される。

[0132] なお、Ｘ軸スキャナ３１５、Ｙ軸スキャナ３１６は被検体３１２を照射光で走査する機能を有する走査部である。走査部によって、照射光の被検体３１２への照射位置が変えられる。そして、被検体３１２からの後方散乱光（反射光）は、再びフォーカスレンズ３１７、Ｙ軸スキャナ３１６、Ｘ軸スキャナ３１５、コリメータ３１４、偏光コントローラ３１３を経由して測定アーム３０７から射出される。そして、カプラ３１０を経由してカプラ３１１に入射する。

[0133] なお、干渉部３０４、測定アーム３０７、参照アーム３０８とを合わせて干渉光学系と呼ぶことが出来る。図２２において干渉光学系は、マッハツェンダー型だが、マイケルソン型であってもよい。

[0134] 一方、参照光は参照アーム３０８を経由し、カプラ３１１に入射する。より具体的には、参照アーム３０８に入射した参照光は、偏光コントローラ３１８で偏光状態を整えられた後、コリメータ３１９から空間光として射出される。その後、参照光は分散補償ガラス３２０、光路長調整光学系３２１、

分散調整プリズムペア３２２を通り、コリメータレンズ３２３を介して光ファイバーに入射され、参照アーム３０８から射出されてカプラ３１１に入射する。

[0135] カプラ３１１で測定アーム３０７を経由した被検体３１２の反射光と参照アーム３０８を通った光とが干渉する。そして、その干渉光を信号出力部３０５で検出する。信号出力部３０５は、差動検出器３２４とＡ／Ｄ変換器３２５を有している。まず、信号出力部３０５では、カプラ３１１で干渉光を発生させた後すぐに分波された干渉光を差動検出器３２４で検出する。そして、差動検出器３２４で電気信号に変換された干渉信号をＡ／Ｄ変換器３２５でデジタル信号に変換している。そして、デジタル信号が情報取得部３０６に送られ、デジタル信号に対してフーリエ変換などの周波数分析が行われることで、被検体３１２の情報が得られる。得られた被検体３１２の情報は表示部３２６によって断層像として表示される。

[0136] 図２２のＯＣＴ装置では、干渉光のサンプリングタイミングは、光源の外に設けられるｋクロック発生部３２７が発信するｋクロック信号に基づいて等光周波数（等波数）間隔に行われる。

[0137] また、光源から射出された光の一部をｋクロック発生部３２７に分岐するために、カプラ３０９が設けられている。

[0138] なお、ｋクロック発生部３２７、カプラ３０９は光源３０１、またはＳＯＡ３０２に組み込まれていてもよい。

[0139] 以上は、被検体３１２のある１点における断層に関する情報の取得のプロセスであり、このように被検体３１２の奥行き方向の断層に関する情報を取得することをＡ－ｓｃａｎと呼ぶ。

[0140] また、Ａ－ｓｃａｎと直交する方向で被検体３１２の断層に関する情報、すなわち２次元画像を取得するための走査方向をＢ－ｓｃａｎ、さらにＡ－ｓｃａｎ、およびＢ－ｓｃａｎのいずれの走査方向とも直交する方向に走査することをＣ－ｓｃａｎと呼ぶ。これは、３次元断層像を取得する際に眼底面内に２次元ラスター走査する場合、高速な走査方向がＢ－ｓｃａｎ、Ｂ－

ｓｃａｎをその直交方向に並べて走査する低速な走査方向をＣ－ｓｃａｎと呼ぶ。Ａ－ｓｃａｎ及びＢ－ｓｃａｎを行うことで２次元の断層像が得られ、Ａ－ｓｃａｎ、Ｂ－ｓｃａｎ及びＣ－ｓｃａｎを行うことで、３次元の断層像を得ることができる。Ｂ－ｓｃａｎ、Ｃ－ｓｃａｎは、上述したＸ軸スキャナ３１５、Ｙ軸スキャナ３１６により行われる。

[0141] なお、Ｘ軸スキャナ３１５、Ｙ軸スキャナ３１６は、それぞれ回転軸が互いに直交するよう配置された偏向ミラーで構成されている。Ｘ軸スキャナ３１５はＸ軸方向の走査を行い、Ｙ軸スキャナ３１６はＹ軸方向の走査を行う。Ｘ軸方向、Ｙ軸方向の各方向は、被検体の表面垂線に対して垂直な方向で、互いに垂直な方向である。

[0142] また、Ｂ－ｓｃａｎ、Ｃ－ｓｃａｎのようなライン走査方向と、Ｘ軸方向またはＹ軸方向とは、一致していなくてもよい。このため、Ｂ－ｓｃａｎ、Ｃ－ｓｃａｎのライン走査方向は、撮像したい２次元の断層像あるいは３次元の断層像に応じて、適宜決めることができる。

[0143] 本実施形態で特徴的なのはＳＯＡであり、上記実施形態で記載した本発明のＳＯＡを用いると、ＭＥＭＳ－ＶＣＳＥＬの掃引スペクトル形状を制御しながらＡＳＥ光を低減できるので、高解像な断層画像情報を取得するのに有利となる。このＯＣＴ装置は、主に眼科における断層画像撮影に有用である。

[0144] 本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために以下の請求項を添付する。

[0145] 本願は、２０１６年４月２８日提出の日本国特許出願特願２０１６-０９１６１５を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てをここに援用する。

符号の説明

[0146] ２０１　入射端面

２０２　射出端面

２０３　上部電極層（ｐ電極）

２０４　下部電極層（ｎ電極）

２０５　活性層

２０６　リッジ

２０７　第１電極領域

２０８　第２電極領域

２０９　第３電極領域

２１０　ＧａＡｓ基板

２１１　ｎ型クラッド層

２１２　ｐ型クラッド層

２１３　コンタクト層

２１４　絶縁膜

請求の範囲

[請求項1] ２つの電極層と、それらの間に設けられた活性層とを含む積層体を有し、

前記積層体は、前記活性層の面内方向に光が導波される導波路を有し、

前記積層体への入射光が、前記導波路を経て、前記積層体の面内方向の端面側から増幅されて射出される光増幅器であって、

前記２つの電極層の少なくともいずれか一方は、前記導波路の導波方向に分離されて設けられた２つ以上の電極を含む電極群を有し、

前記光増幅器は、前記２つ以上の電極を用いて、前記活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入することで、前記入射光の波長に応じて、前記入射光の増幅率を変化させることが可能に構成されている光増幅器。

[請求項2] 前記２つ以上の電極を用いて、前記活性層における複数の異なる領域に注入される電流を独立に制御する制御部を有する請求項１に記載の光増幅器。

[請求項3] 前記入射光の波長において前記活性層の利得が正である、前記導波路内の領域を利得領域、前記導波路に沿った利得領域の合計長さを利得長と定義するとき、前記入射光の波長に応じて、前記利得長を変えることが可能に構成されている請求項１または２に記載の光増幅器。

[請求項4] 前記入射光の波長が短いほど、前記利得長を短くするように構成されている請求項１乃至３のいずれか一項に記載の光増幅器。

[請求項5] 前記入射光の波長が短いほど、前記活性層に注入される電流の電流密度を大きくするように構成されている請求項１乃至４のいずれか一項に記載の光増幅器。

[請求項6] 前記入射光の波長が短いほど、前記電極群のうち、前記活性層に電流を注入するために用いられる電極が少なくなるように構成されている請求項１乃至５のいずれか一項に記載の光増幅器。

[請求項7] 前記光増幅器から射出される光の波長の時間変化の波形が、略ガウシアン形状、略矩形形状、略コサインテーパ形状のいずれかとなるように構成されている請求項１乃至６のいずれか一項に記載の光増幅器。

[請求項8] 前記活性層が、非対称の量子井戸構造を有する請求項１乃至７のいずれか一項に記載の光増幅器。

[請求項9] 射出する光の波長を変化させる光源部と、前記光源部から射出された光を増幅する請求項　１乃至８のいずれか一項に記載の光増幅器とを有する光源システム。

[請求項10] 前記光源部が面発光レーザである請求項９に記載の光源システム。

[請求項11] 射出する光の波長を変化させる光源部と、

前記光源部から射出された光を増幅する請求項１乃至８のいずれか一項に記載の光増幅器と、

前記光増幅器から射出された光を、照射光学系を通り物体へ照射される照射光と、参照光学系を通る参照光とに分波し、

前記物体に照射された光の反射光と前記参照光による干渉光を発生させる干渉光学系と、

前記干渉光を受光して干渉信号を出力する信号出力部と、

前記干渉信号に基づいて、前記物体の情報を取得する取得部と、

を有する光干渉断層計。

[請求項12] 前記光源部が面発光レーザである請求項１１に記載の光干渉断層計。

[請求項13] 半導体光増幅器を用いて入射光を増幅する光増幅方法であって、

前記半導体光増幅器を構成する少なくともいずれか一方の電極層は、前記半導体光増幅器の光の導波路の導波方向に分離された、２つ以上の電極を含む電極群を有し、

前記光増幅方法は、

前記半導体光増幅器へ光を入射させる入射工程と

前記半導体光増幅器へ入射した入射光の強度を増幅させる増幅工程と、

前記増幅工程で強度が増幅された光を、前記半導体光増幅器から射出させる射出工程と、を有し、

前記増幅工程は、前記２つ以上の電極を用いて、前記半導体光増幅器の活性層における複数の異なる領域に独立に電流を注入することで、前記入射光の波長に応じて、光増幅倍率を変える工程を有する光増幅方法。

[請求項14] 前記入射光の波長において前記活性層の利得が正である、前記導波路内の領域を利得領域、前記導波路に沿った利得領域の合計長さを利得長と定義するとき、

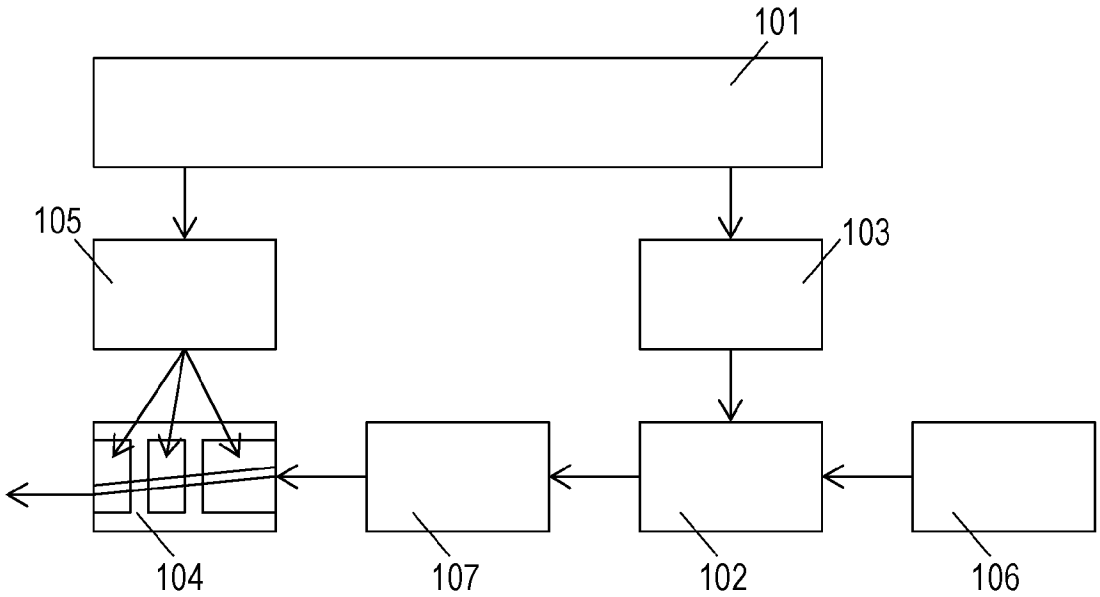
前記増幅工程は、前記入射光の波長に応じて、前記利得長を変える工程を有する請求項１３に記載の光増幅方法。

[請求項15] 前記増幅工程は、前記入射光の波長が短いほど前記利得長を短くする工程を有する請求項１３または１４に記載の光増幅方法。

[請求項16] 前記増幅工程は、前記入射光の波長が短いほど、前記活性層のキャリア密度が大きくなるように電流を前記活性層に注入する工程を有する請求項１３乃至１５のいずれか一項に記載の光増幅方法。

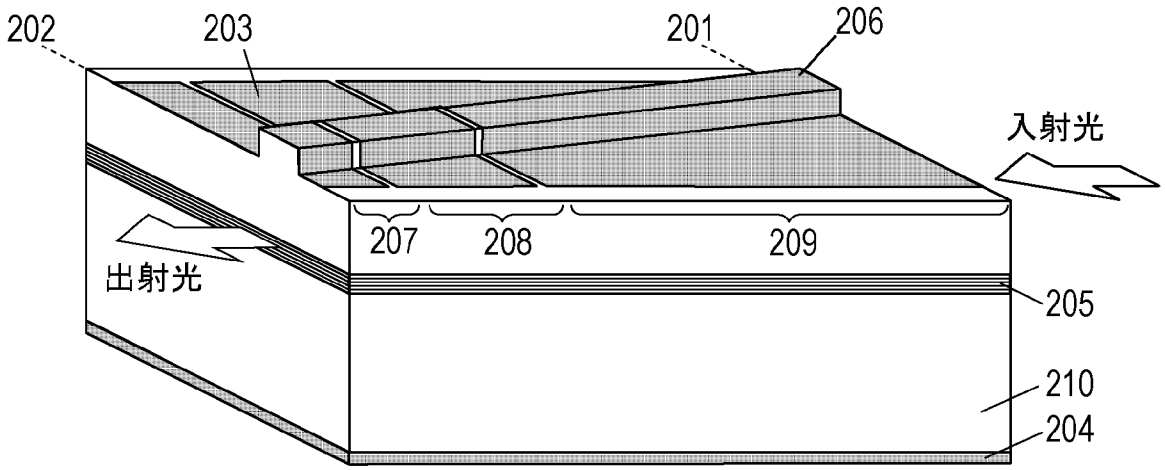
[請求項17] 前記増幅工程は、前記入射光の波長が短いほど、前記利得領域を短くする工程を有する請求項１３乃至１６のいずれか一項に記載の光増幅方法。

[図1]

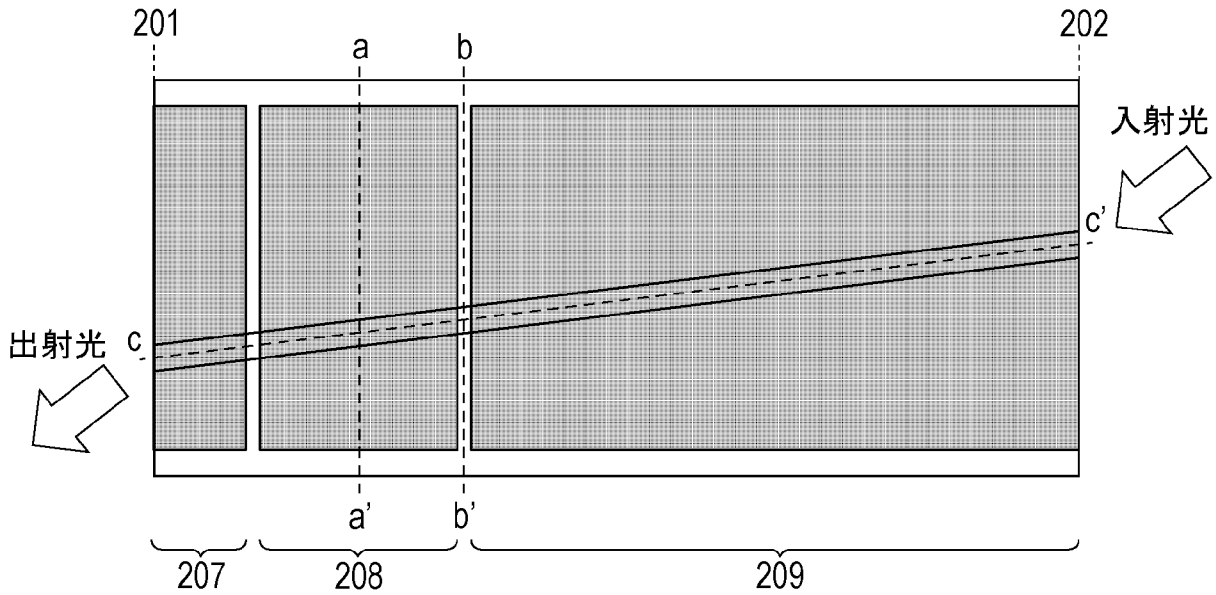


[図2]

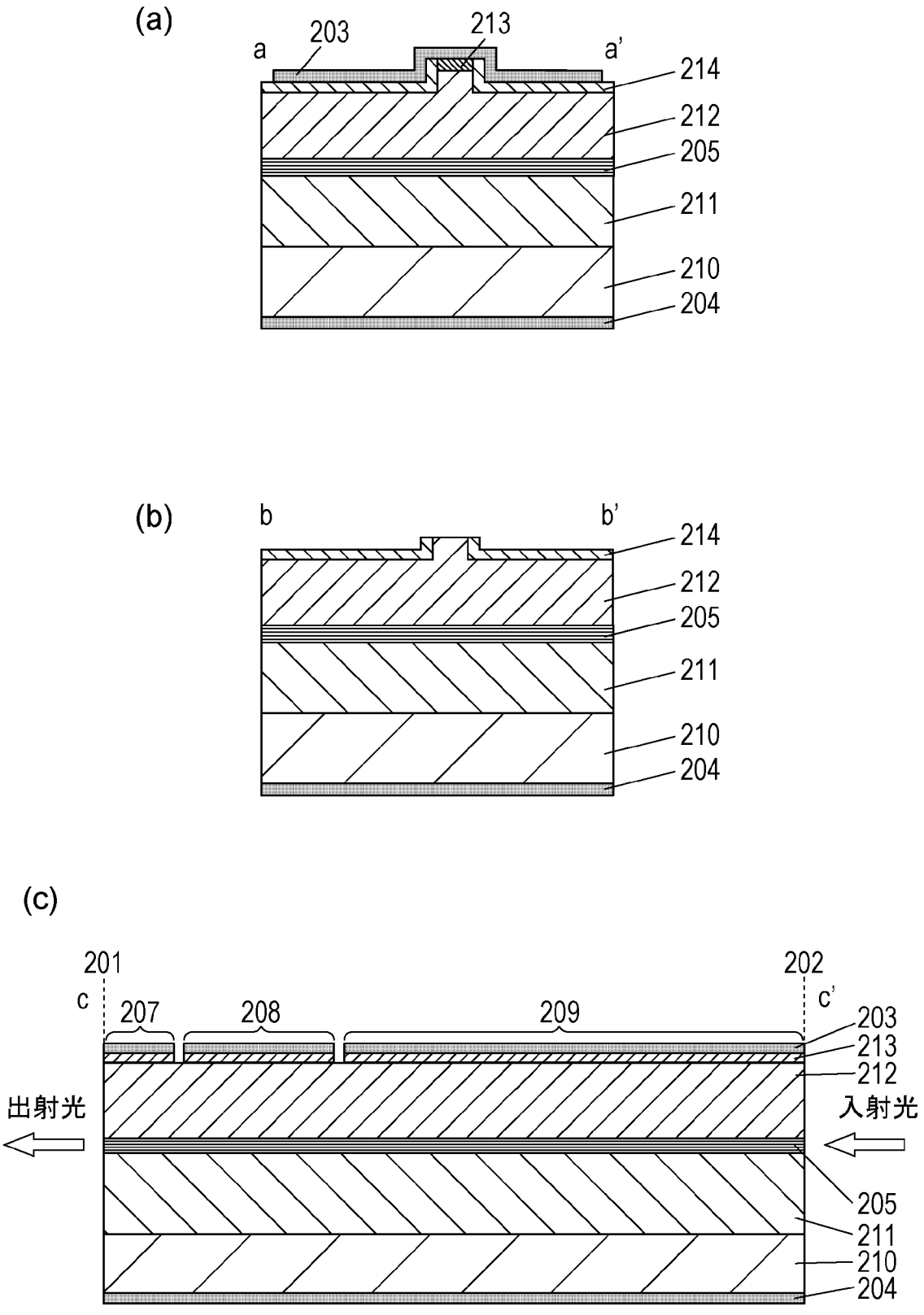
(a)


202
203
201
206
入射光
出射光
207
208
209
205
210
204

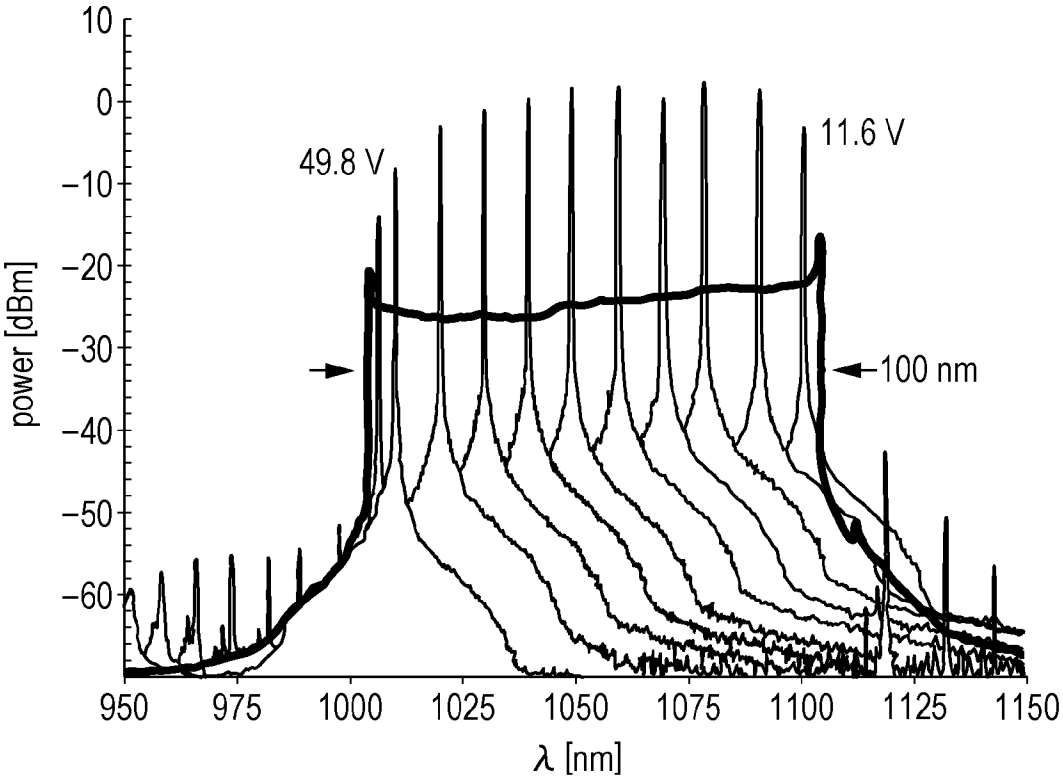
(b)


201
a
b
202
入射光
c'
出射光
c
a'
b'
207
208
209

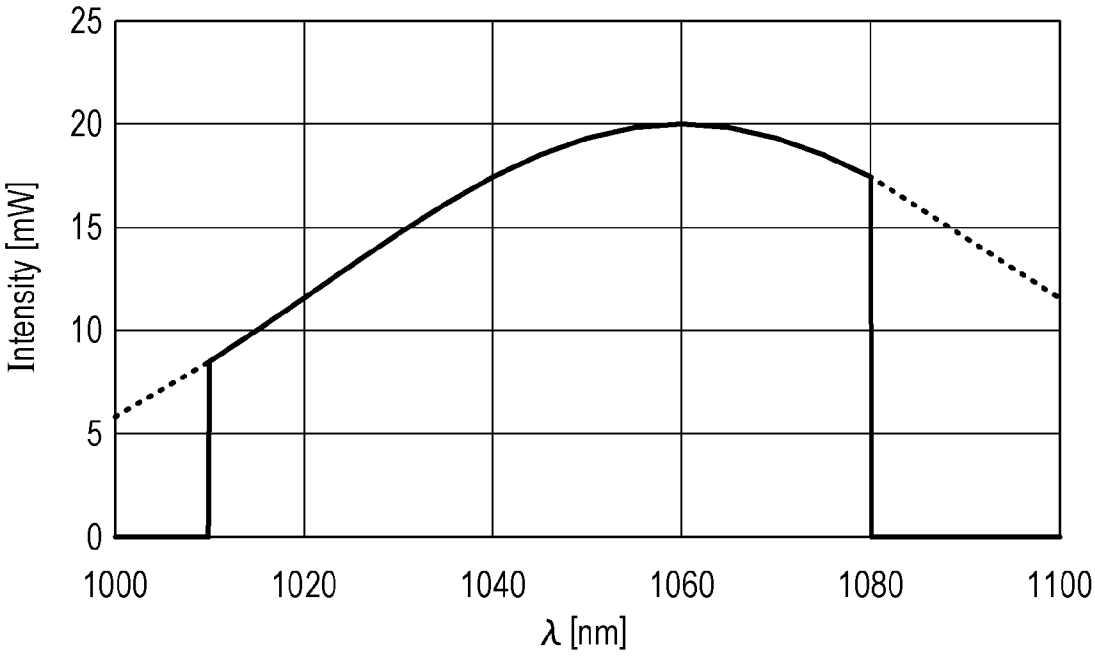
[図3]


(a)
a
203
213
a'
214
212
205
211
210
204
(b)
b
b'
214
212
205
211
210
204
(c)
201
c
207
208
209
202
c'
203
213
212
出射光
入射光
205
211
210
204

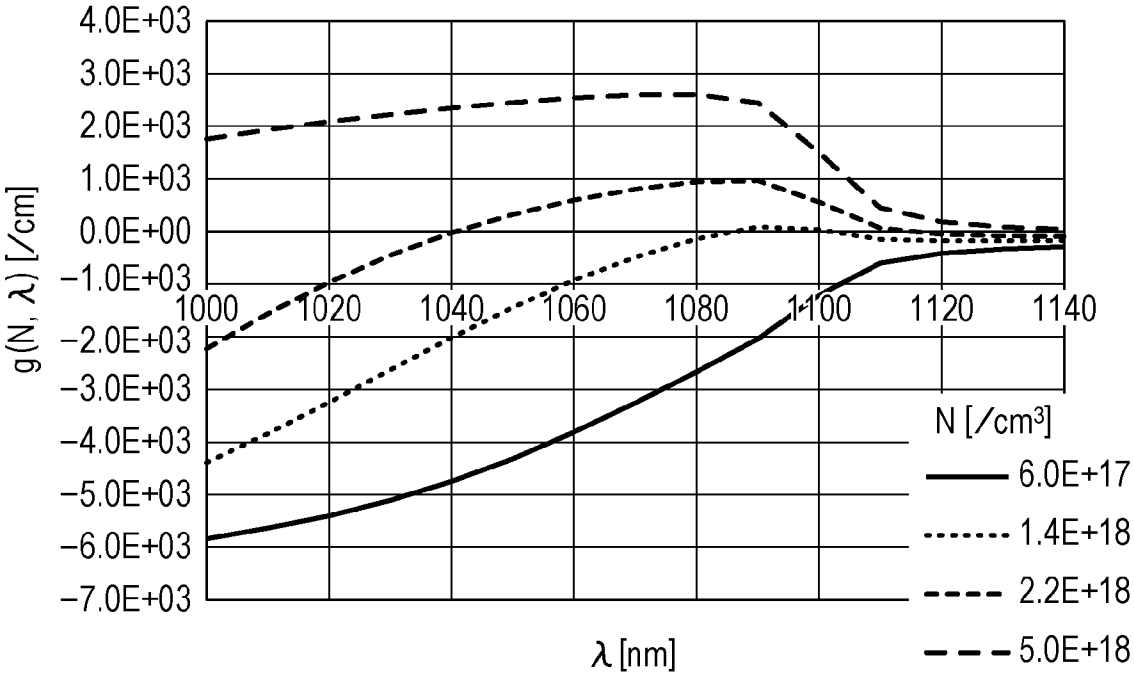
[図4]


10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
power [dBm]
49.8 V
11.6 V
100 nm
950
975
1000
1025
1050
1075
1100
1125
1150
λ [nm]

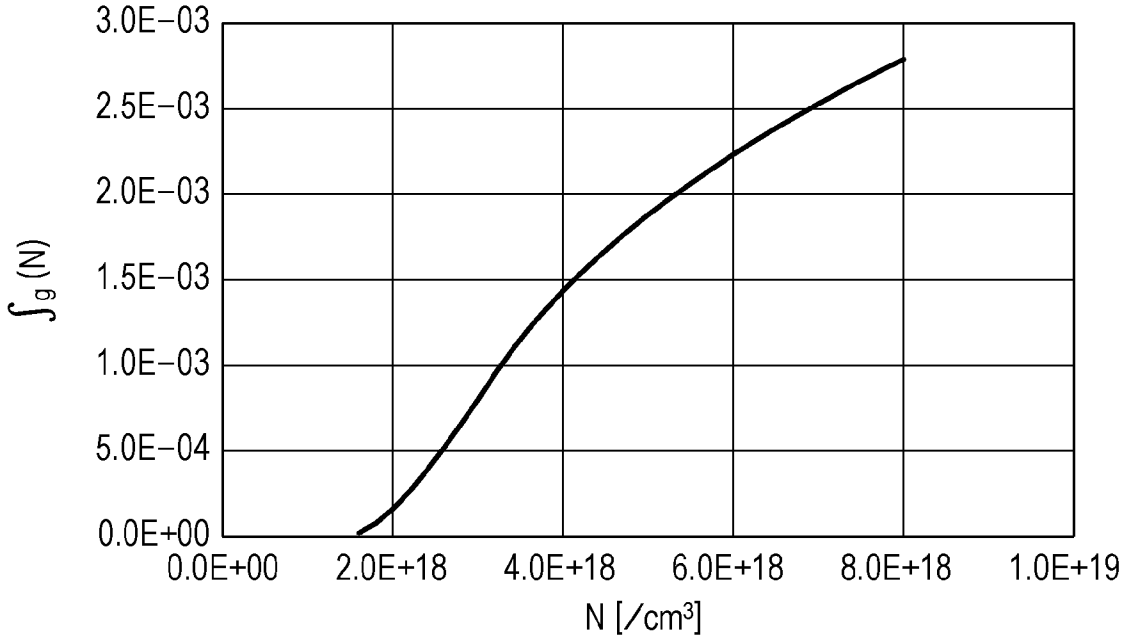
[図5]



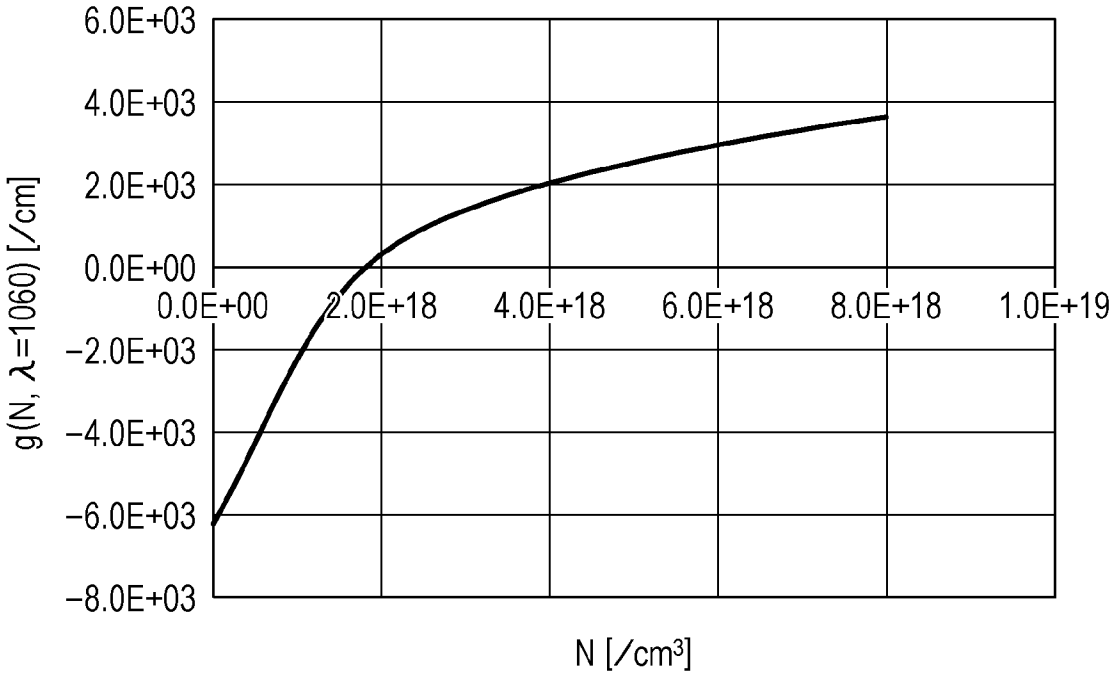
[図6]


4.0E+03
3.0E+03
2.0E+03
1.0E+03
0.0E+00
−1.0E+03
−2.0E+03
−3.0E+03
−4.0E+03
−5.0E+03
−6.0E+03
−7.0E+03
g(N, λ) [/cm]
1000
1020
1040
1060
1080
1100
1120
1140
λ [nm]
N [/cm3]
6.0E+17
1.4E+18
2.2E+18
5.0E+18

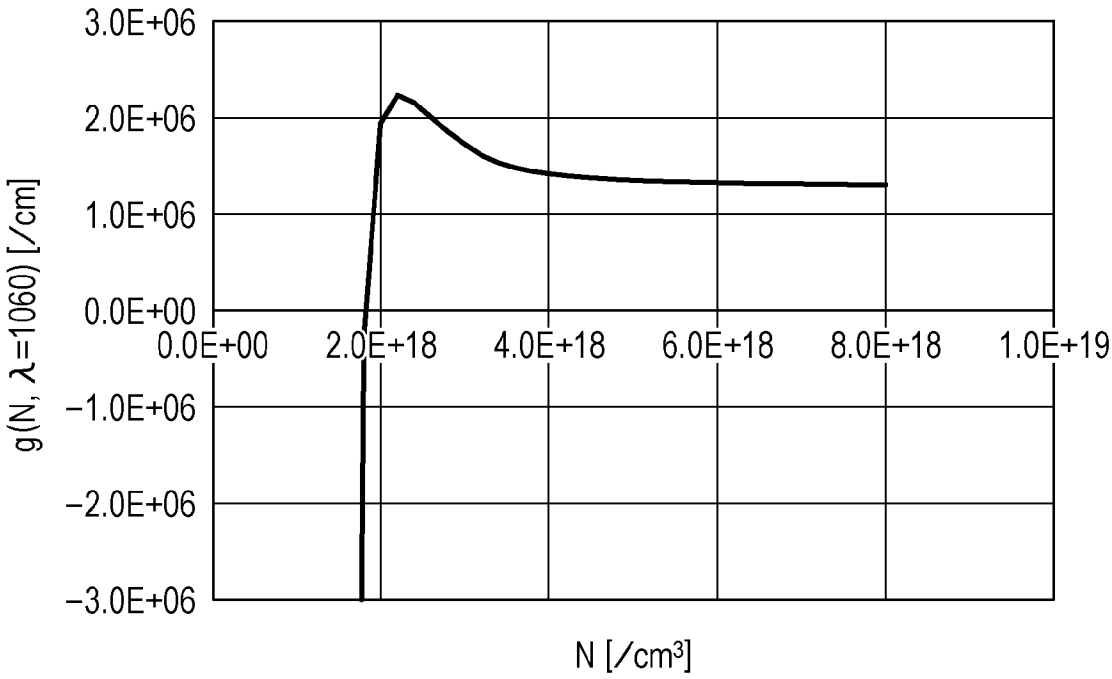
[図7]


3.0E−03
2.5E−03
2.0E−03
1.5E−03
1.0E−03
5.0E−04
0.0E+00
∫g (N)
0.0E+00
2.0E+18
4.0E+18
6.0E+18
8.0E+18
1.0E+19
N [/cm3]

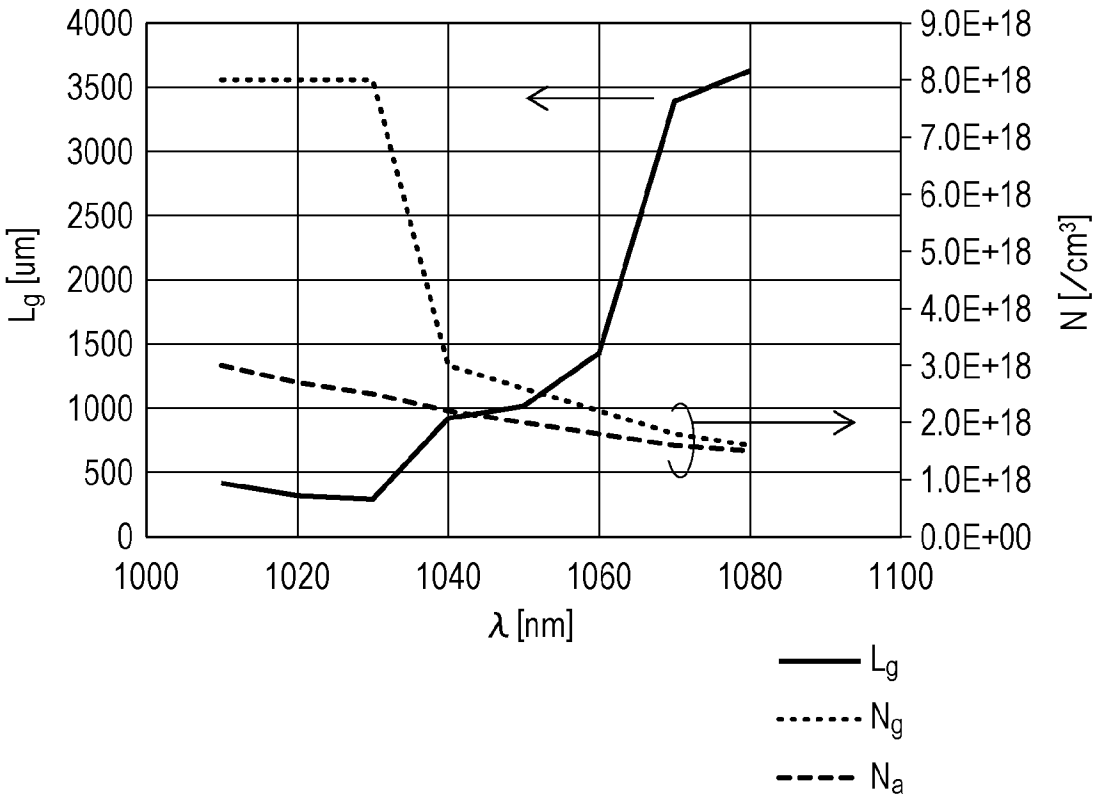
[図8]


6.0E+03
4.0E+03
2.0E+03
0.0E+00
−2.0E+03
−4.0E+03
−6.0E+03
−8.0E+03
g(N, λ=1060) [/cm]
0.0E+00
2.0E+18
4.0E+18
6.0E+18
8.0E+18
1.0E+19
N [/cm3]

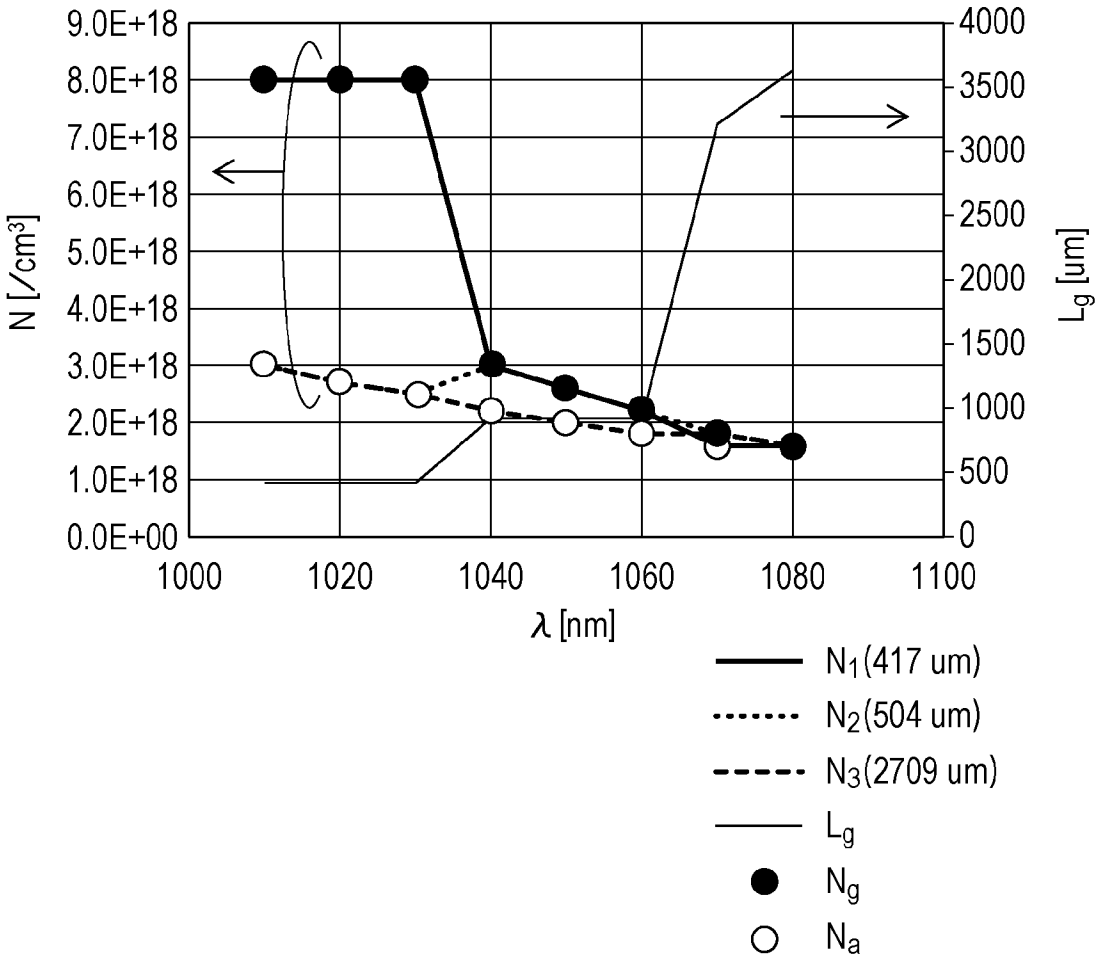
[図9]


3.0E+06
2.0E+06
1.0E+06
0.0E+00
−1.0E+06
−2.0E+06
−3.0E+06
g(N, λ=1060) [/cm]
0.0E+00
2.0E+18
4.0E+18
6.0E+18
8.0E+18
1.0E+19
N [/cm3]

[図10]

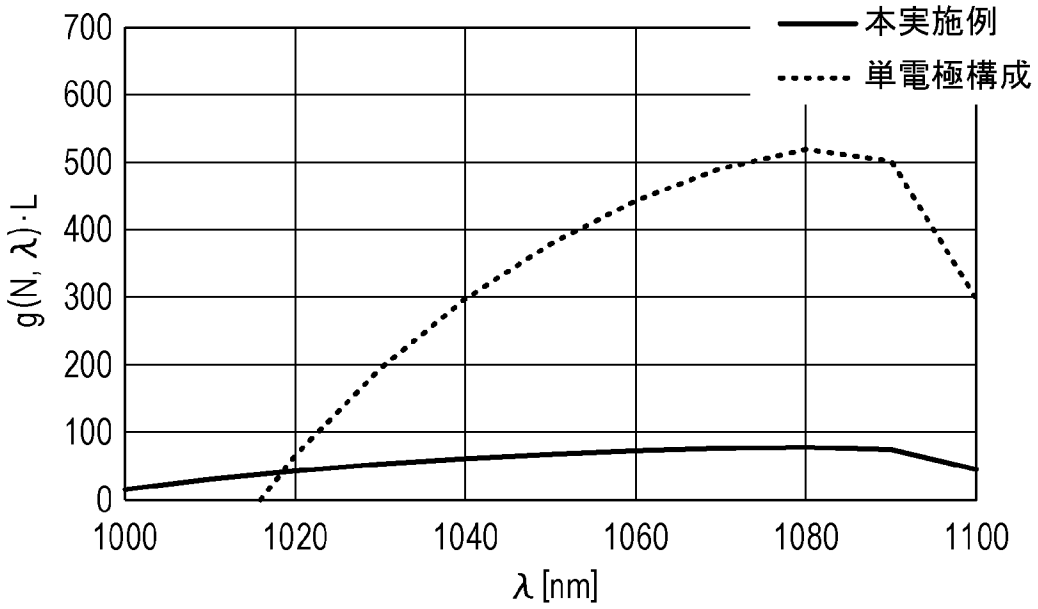

4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Lg [um]
9.0E+18
8.0E+18
7.0E+18
6.0E+18
5.0E+18
4.0E+18
3.0E+18
2.0E+18
1.0E+18
0.0E+00
N [/cm3]
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]
Lg
Ng
Na

[図11]

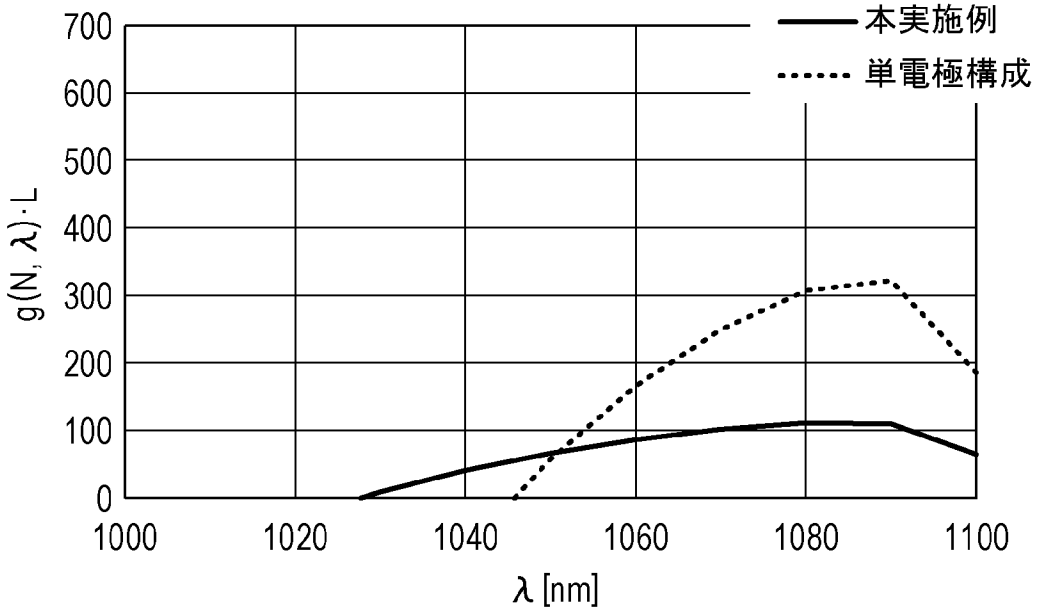

9.0E+18
8.0E+18
7.0E+18
6.0E+18
5.0E+18
4.0E+18
3.0E+18
2.0E+18
1.0E+18
0.0E+00
N [/cm³]
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Lg [um]
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]
N1(417 um)
N2(504 um)
N3(2709 um)
Lg
Ng
Na

[図12]

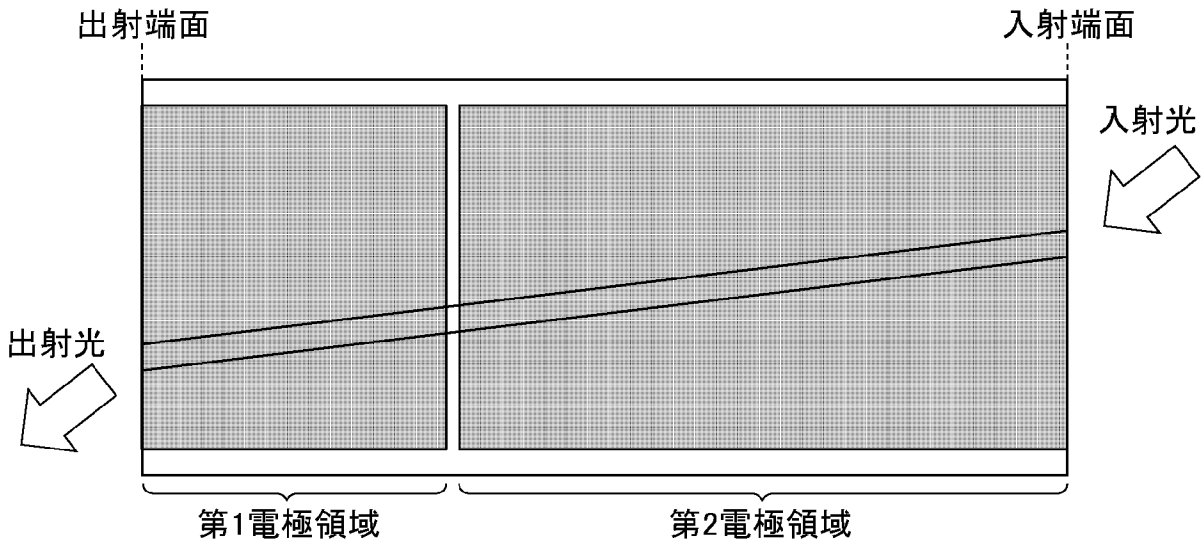
(a)


本実施例
単電極構成
700
600
500
400
300
200
100
0
g(N, λ)·L
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

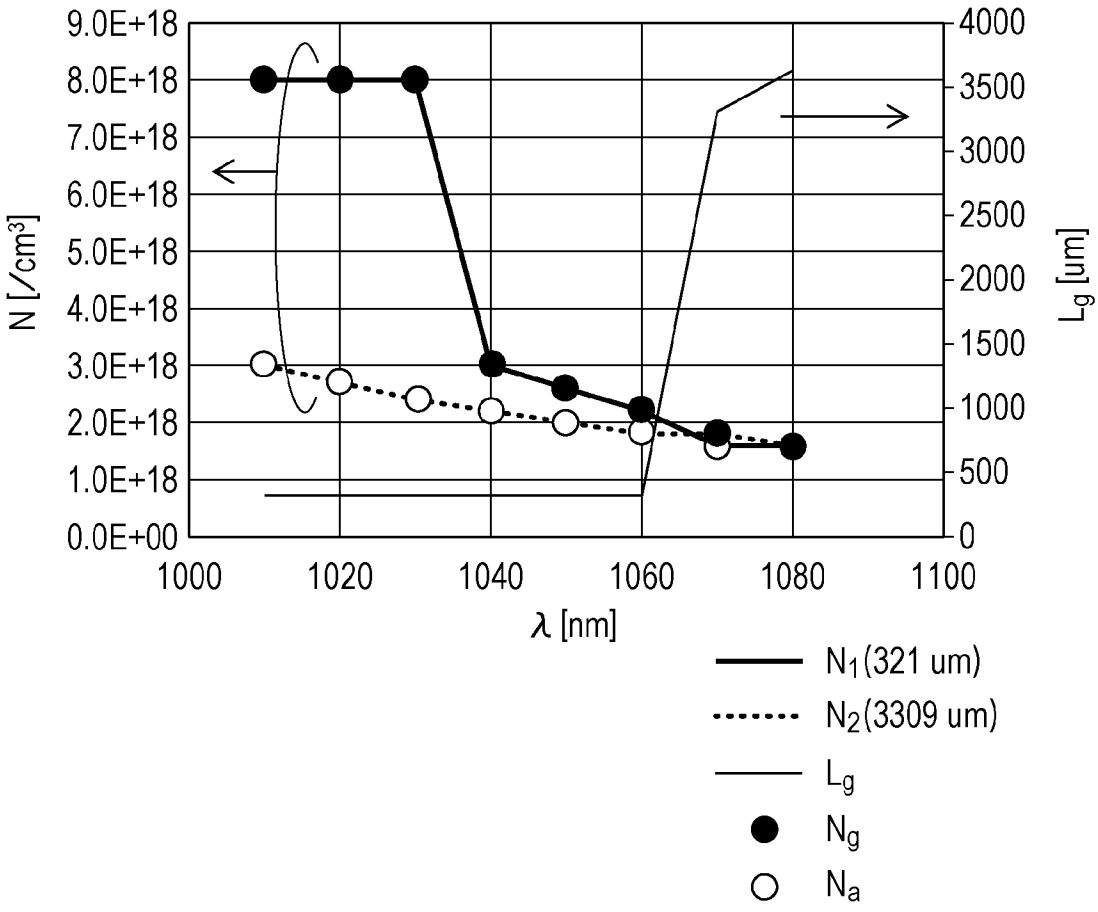
(b)


本実施例
単電極構成
700
600
500
400
300
200
100
0
g(N, λ)·L
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

[図13]

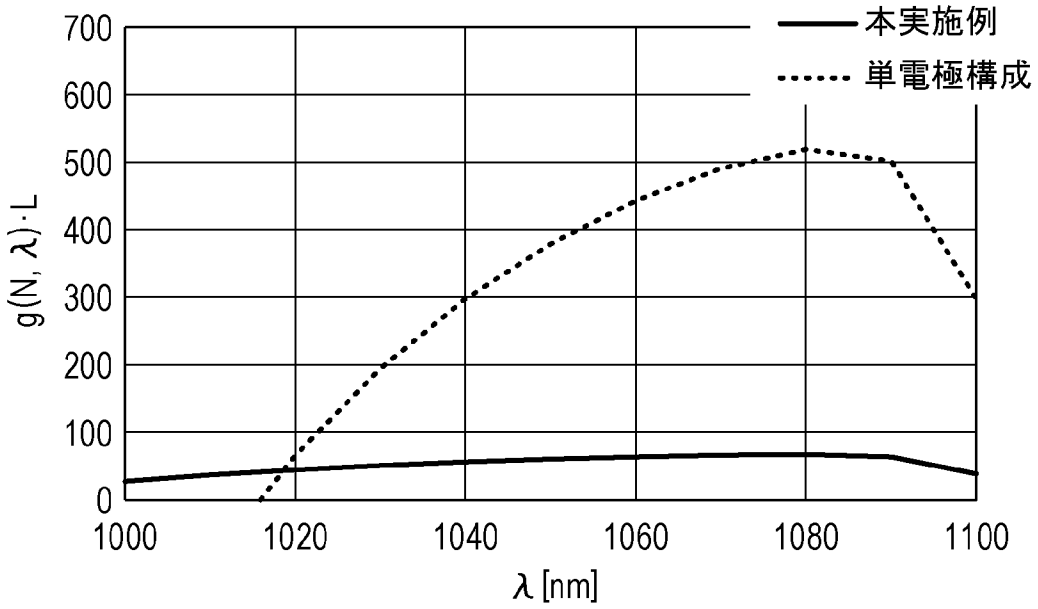


[図14]

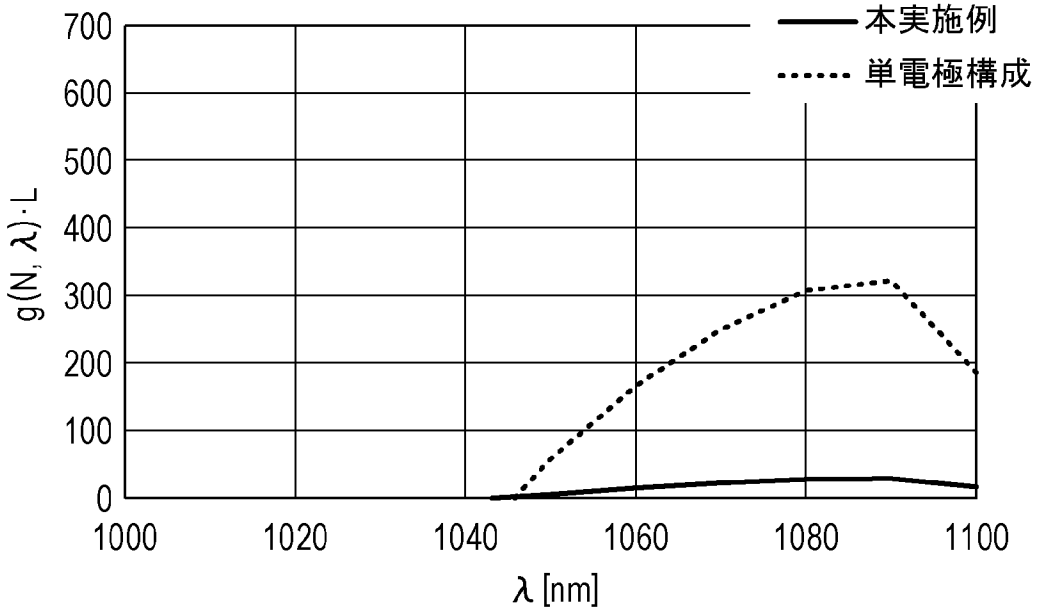

9.0E+18
8.0E+18
7.0E+18
6.0E+18
5.0E+18
4.0E+18
3.0E+18
2.0E+18
1.0E+18
0.0E+00
N [/cm³]
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Lg [um]
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]
N1(321 um)
N2(3309 um)
Lg
Ng
Na

[図15]

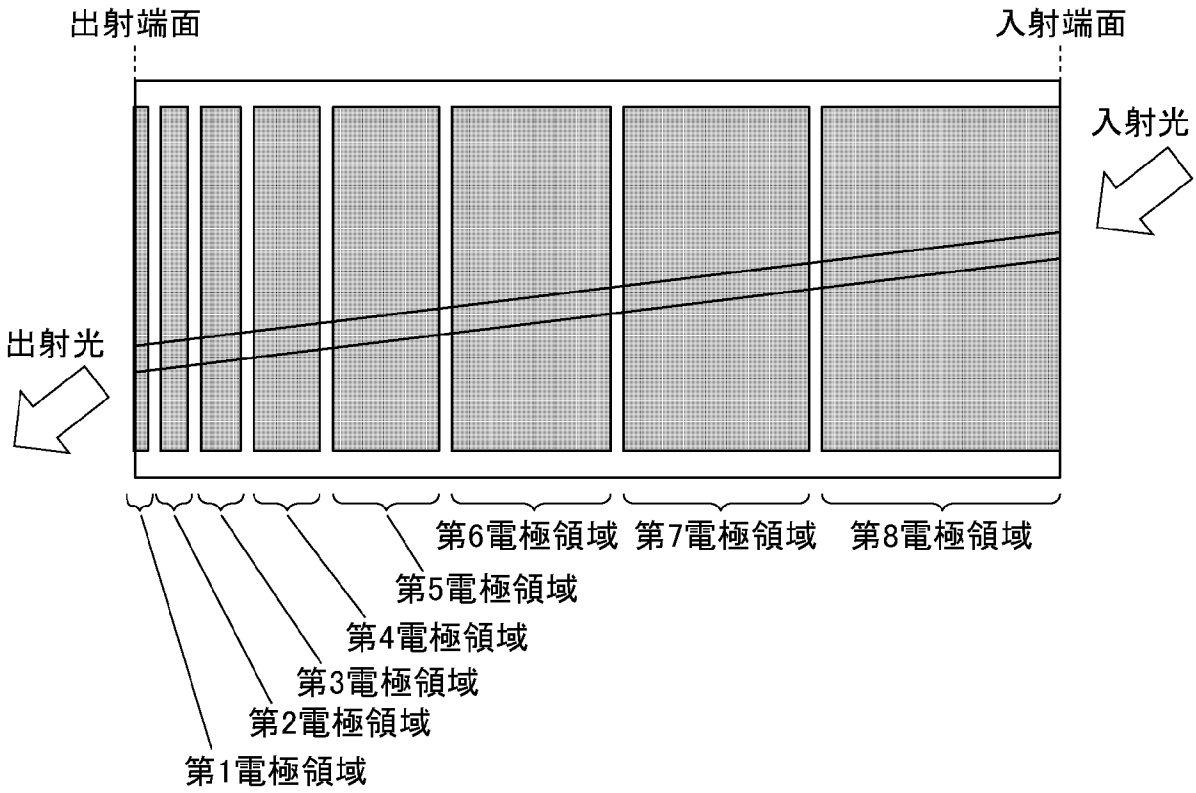
(a)


本実施例
単電極構成
g(N, λ)·L
700
600
500
400
300
200
100
0
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

(b)

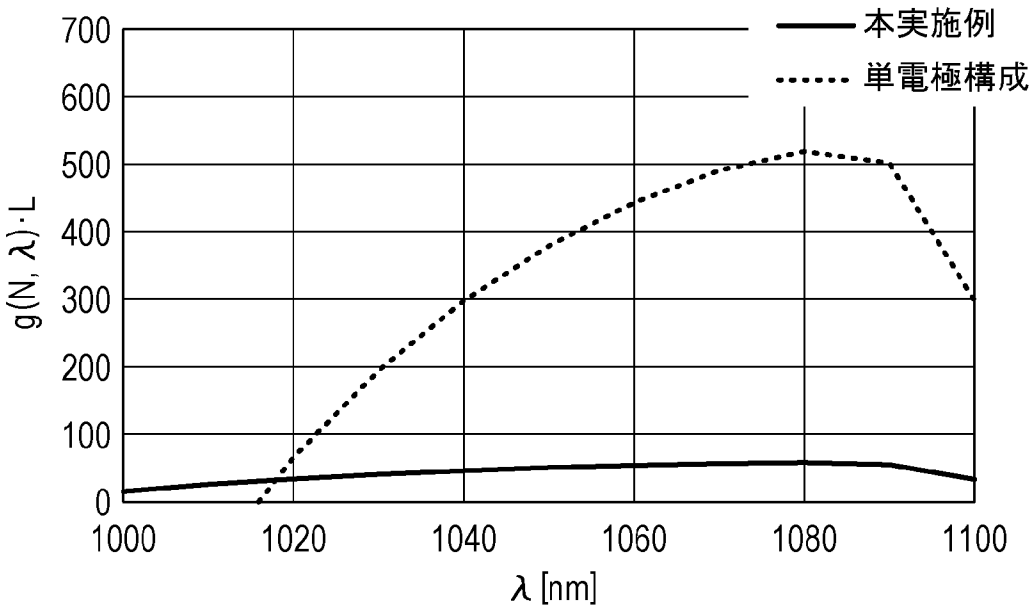

本実施例
単電極構成
g(N, λ)·L
700
600
500
400
300
200
100
0
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

[図16]

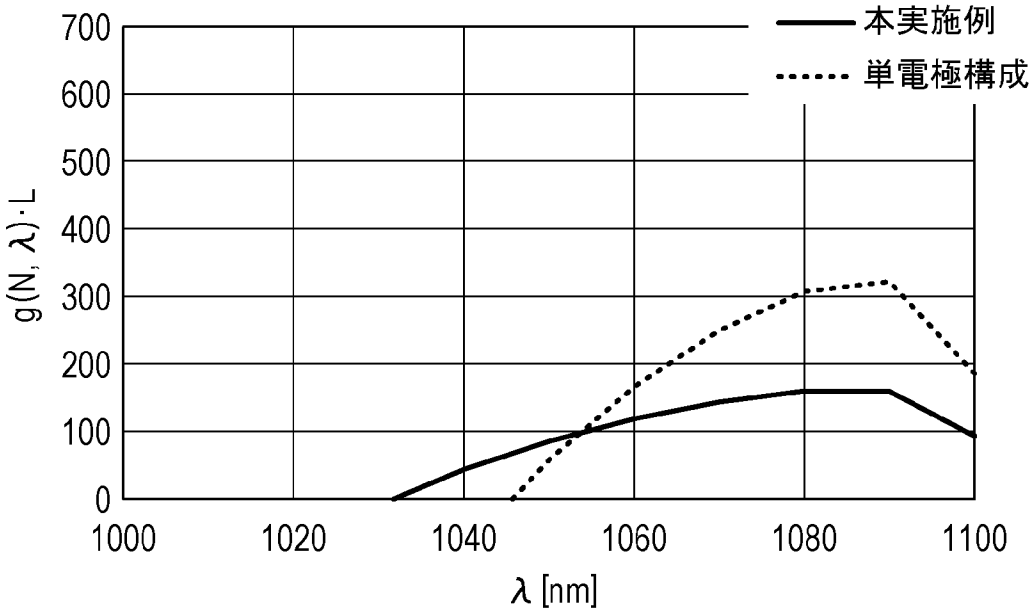

出射端面
入射端面
入射光
出射光
第6電極領域
第7電極領域
第8電極領域
第5電極領域
第4電極領域
第3電極領域
第2電極領域
第1電極領域

[図17]

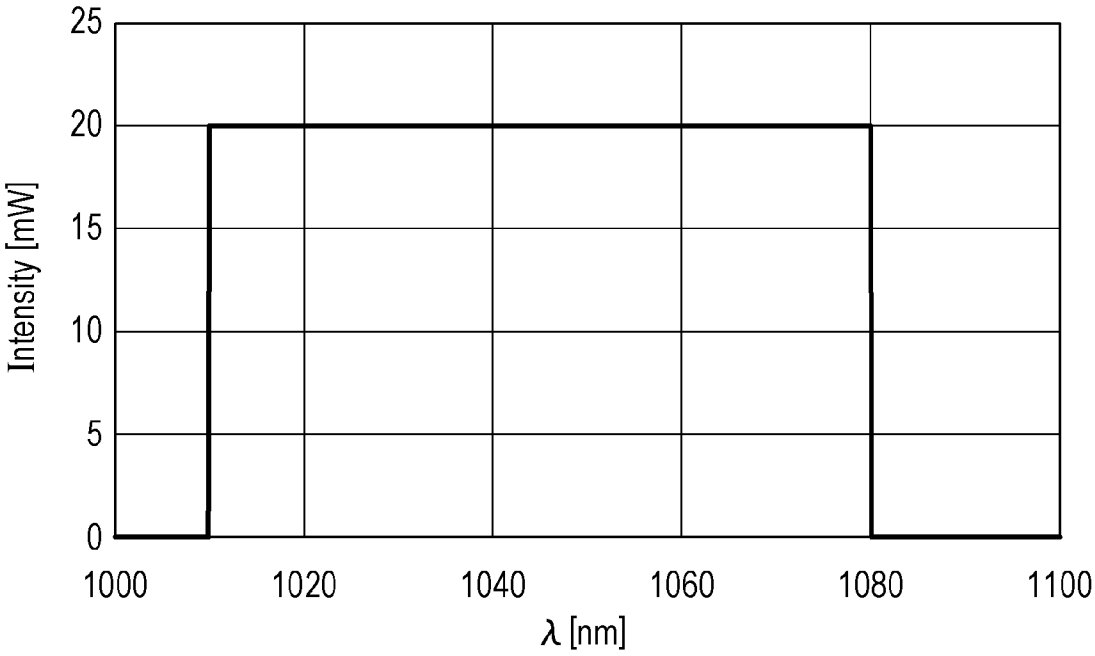
(a)


本実施例
単電極構成
g(N, λ)·L
700
600
500
400
300
200
100
0
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

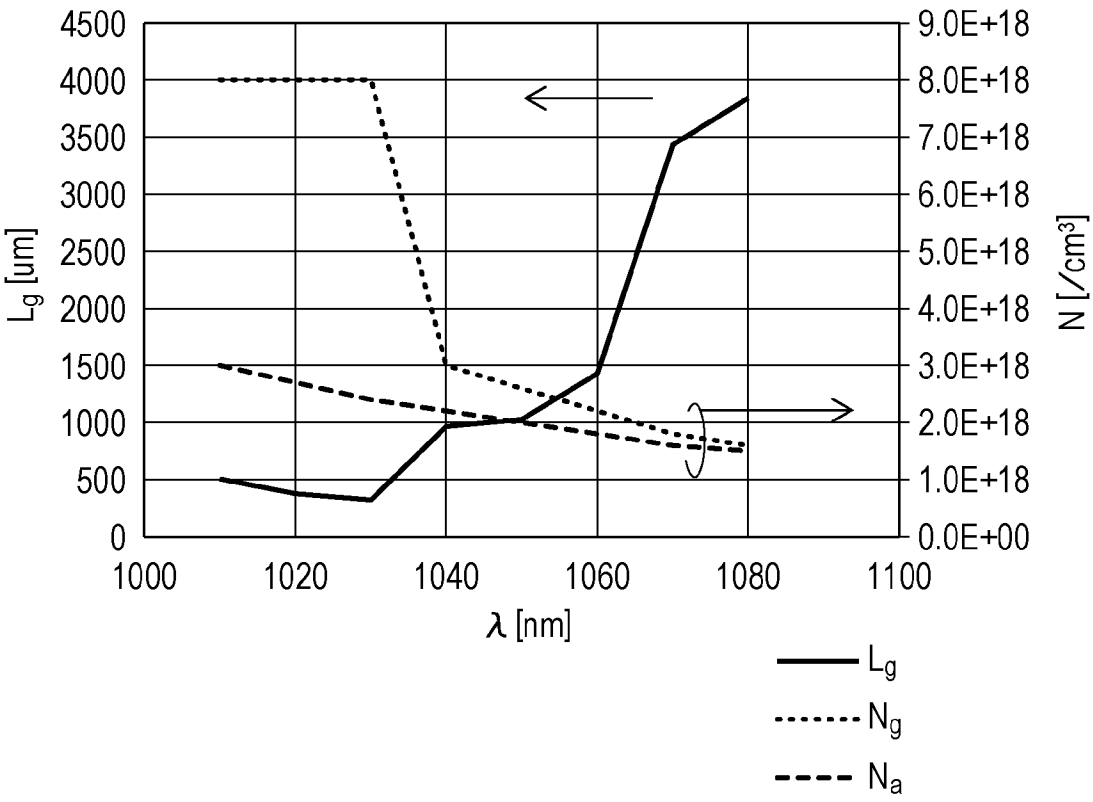
(b)


本実施例
単電極構成
g(N, λ)·L
700
600
500
400
300
200
100
0
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

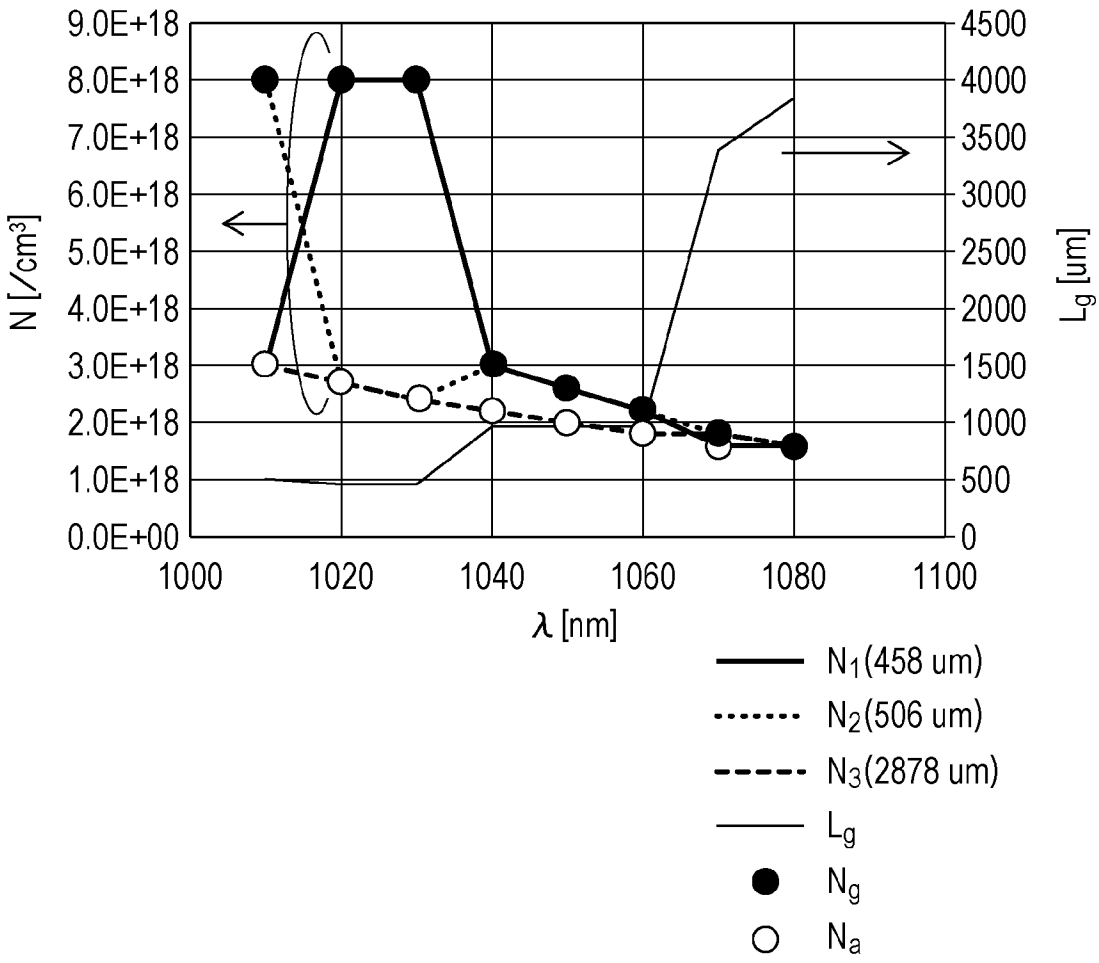
[図18]



[図19]

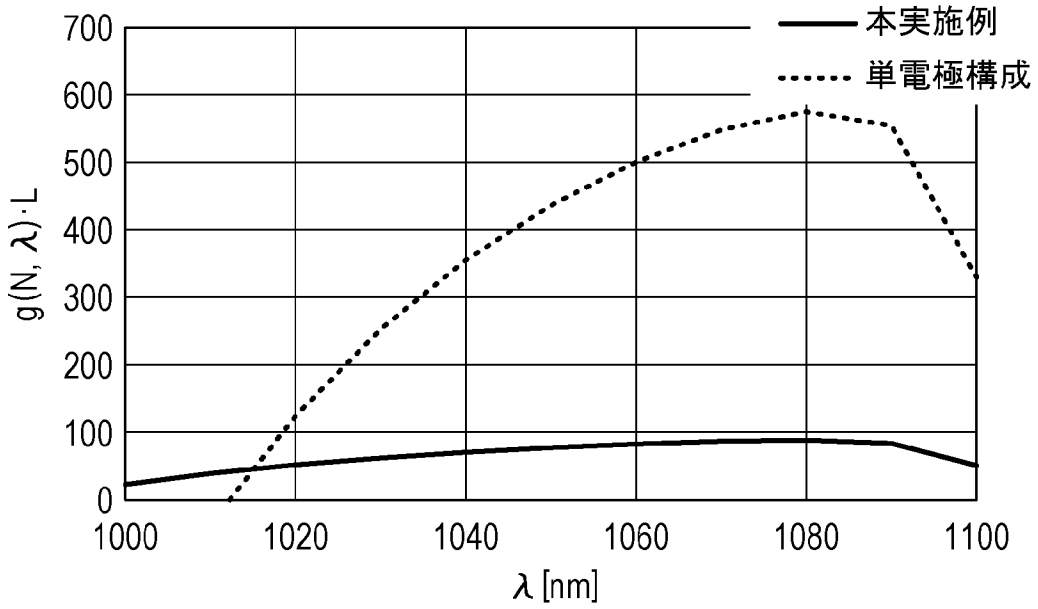

4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Lg [um]
9.0E+18
8.0E+18
7.0E+18
6.0E+18
5.0E+18
4.0E+18
3.0E+18
2.0E+18
1.0E+18
0.0E+00
N [/cm3]
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]
Lg
Ng
Na

[図20]

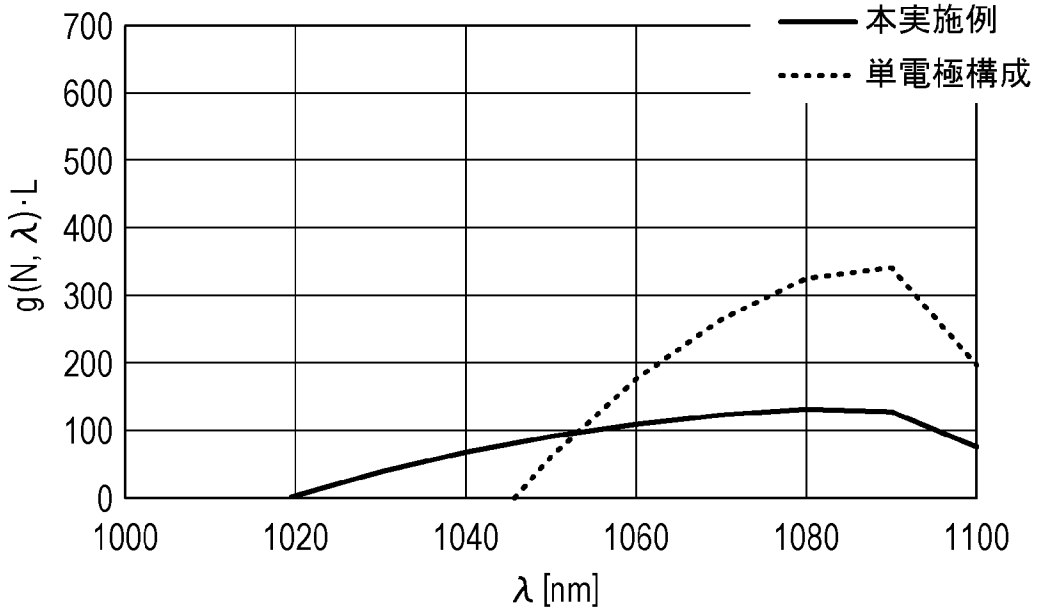

9.0E+18
8.0E+18
7.0E+18
6.0E+18
5.0E+18
4.0E+18
3.0E+18
2.0E+18
1.0E+18
0.0E+00
N [/cm3]
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Lg [um]
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]
N1(458 um)
N2(506 um)
N3(2878 um)
Lg
Ng
Na

[図21]

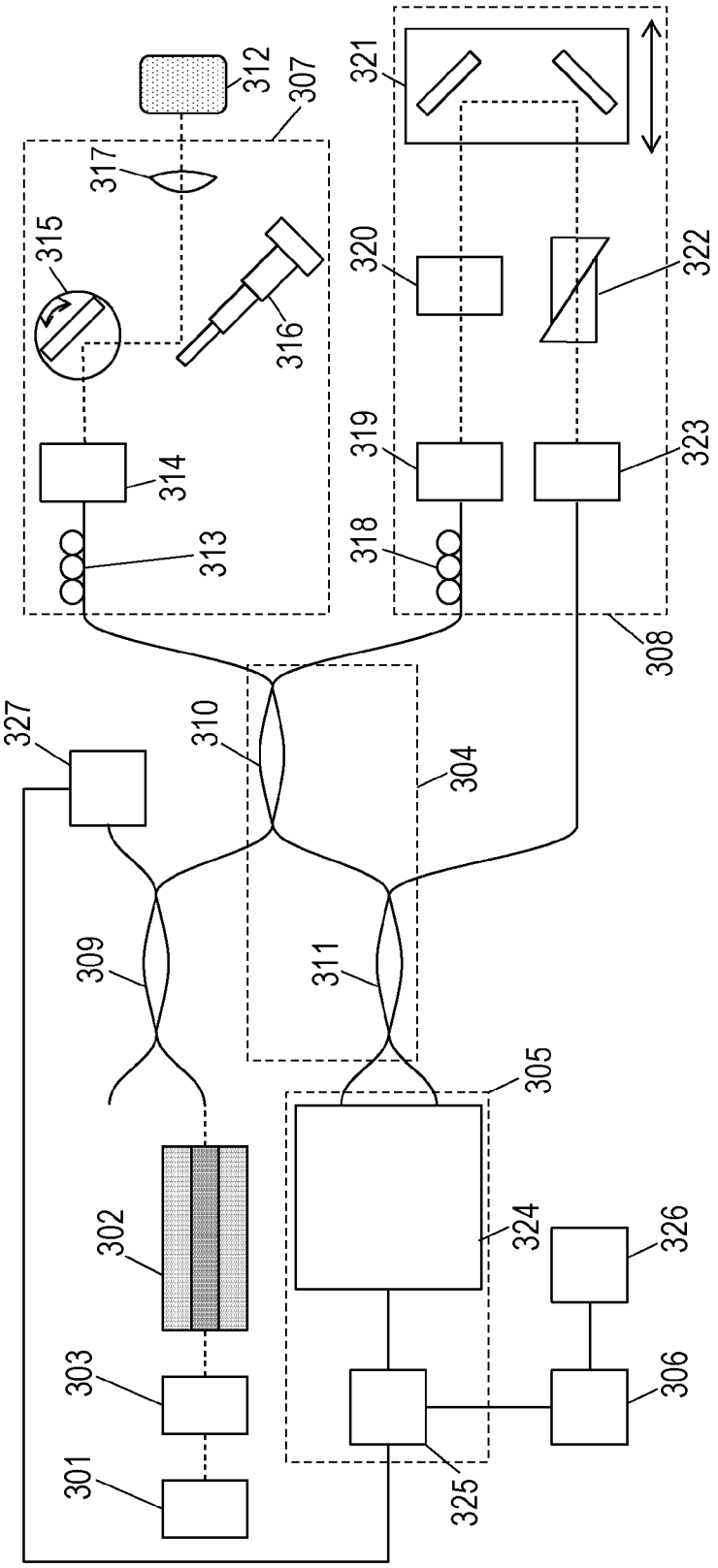
(a)


本実施例
単電極構成
g(N, λ)·L
700
600
500
400
300
200
100
0
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

(b)


本実施例
単電極構成
g(N, λ)·L
700
600
500
400
300
200
100
0
1000
1020
1040
1060
1080
1100
λ [nm]

[図22]


312
307
317
315
316
314
313
321
320
322
319
323
318
308
327
310
304
309
311
305
302
324
326
303
306
301
325

[図23]

		キャリア密度[E+18/cm^3]							
		N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8
電極長[um]		20	40	80	160	320	640	1280	1090
入射光波長[nm]	1010	8.0	3.0	8.0	3.0	8.0	3.0	3.0	3.0
	1020	2.7	2.7	2.7	2.7	8.0	2.7	2.7	2.7
	1030	8.0	8.0	8.0	8.0	2.4	2.4	2.4	2.4
	1040	2.2	3.0	3.0	3.0	2.2	3.0	2.2	2.2
	1050	2.6	2.6	2.0	2.0	2.6	2.6	2.0	2.0
	1060	2.2	2.2	2.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8
	1070	1.8	1.8	1.6	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8
	1080	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/016689

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S5/042(2006.01)i, *A61B3/10*(2006.01)i, *G01N21/01*(2006.01)i, *G01N21/17*(2006.01)i, *H01S5/50*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S5/00-5/50, A61B3/10, G01N21/01, G01N21/17

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2007-184557 A (Fujifilm Corp.), 19 July 2007 (19.07.2007), paragraphs [0014] to [0048]; fig. 1 to 5 & US 2010/0259758 A1 paragraphs [0013] to [0041], [0055] to [0077]; fig. 1 to 5	1-8,13-17 9-12
Y	JP 2016-027333 A (Canon Inc.), 18 February 2016 (18.02.2016), paragraph [0113] & WO 2016/002160 A1 paragraph [0114]	9-12

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 June 2017 (13.06.17)	27 June 2017 (27.06.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/016689

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 2014-082485 A (Canon Inc.), 08 May 2014 (08.05.2014), fig. 7 & US 2015/0263219 A1 fig. 7 & WO 2014/050102 A1 & EP 2901500 A1 & CN 104662677 A	1-17
A	US 2003/0039425 A1 (STODDARD, Robert), 27 February 2003 (27.02.2003), paragraph [0029]; fig. 1 (Family: none)	1-17
A	JP 2003-124578 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 25 April 2003 (25.04.2003), fig. 5 (Family: none)	1-17
A	JP 6-045678 A (NEC Corp.), 18 February 1994 (18.02.1994), paragraph [0020]; fig. 3 & KR 10-0166098 B	1-17
A	JP 2009-049280 A (Sharp Corp.), 05 March 2009 (05.03.2009), fig. 1 (Family: none)	1-17

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０１６６８９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S5/042(2006.01)i, A61B3/10(2006.01)i, G01N21/01(2006.01)i, G01N21/17(2006.01)i, H01S5/50(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S5/00-5/50, A61B3/10, G01N21/01, G01N21/17

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2007-184557 A (富士フイルム株式会社) 2007.07.19, [0014]-[0048], 図 1-5 & US 2010/0259758 A1 [0013]-[0041], [0055]-[0077], FIGs. 1-5	1-8, 13-17 9-12
Y	JP 2016-027333 A (キヤノン株式会社) 2016.02.18, [0113] & WO 2016/002160 A1 [0114]	9-12

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１３．０６．２０１７	２７．０６．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｋ　３３１１
島田　英昭
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2014-082485 A（キヤノン株式会社）2014.05.08, 図７ & US 2015/0263219 A1 FIG.7 & WO 2014/050102 A1 & EP 2901500 A1 & CN 104662677 A	1-17
A	US 2003/0039425 A1 (STODDARD, Robert) 2003.02.27, [0029],FIG.1 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2003-124578 A（日本電信電話株式会社）2003.04.25, 図５（ファミリーなし）	1-17
A	JP 6-045678 A（日本電気株式会社）1994.02.18, [0020],図３ & KR 10-0166098 B	1-17
A	JP 2009-049280 A（シャープ株式会社）2009.03.05, 図１ (ファミリーなし)	1-17