

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-199877

(P2017-199877A)

(43) 公開日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 5/042 (2006.01)	HO 1 S 5/042 6 1 2	2 G 0 5 9
HO 1 S 5/50 (2006.01)	HO 1 S 5/50 6 1 0	4 C 3 1 6
HO 1 S 5/0625 (2006.01)	HO 1 S 5/0625	5 F 1 7 3
GO 1 N 21/17 (2006.01)	GO 1 N 21/17 6 3 0	
GO 1 N 21/01 (2006.01)	GO 1 N 21/01 D	

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-91615 (P2016-91615)
 (22) 出願日 平成28年4月28日 (2016. 4. 28)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 吉岡 毅
 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
 Fターム(参考) 2G059 AA05 AA06 BB12 BB16 EE02
 EE09 FF02 GG01 GG09 HH01
 JJ11 JJ12 JJ13 JJ15 JJ17
 JJ19 JJ22 MM01
 4C316 AB04 AB11 FY02 FY10 FZ02
 最終頁に続く

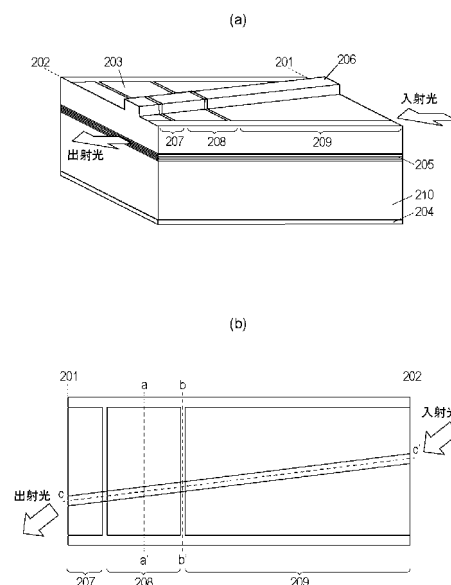
(54) 【発明の名称】 光増幅器、それを備える光干渉層計、及び光増幅器を用いた光増幅方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 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。

【解決手段】 2つの電極層203、204と、それらの間に設けられた活性層205と、活性層の面内方向に光が導波される導波路とを含む積層体を有し、積層体への入射光が導波路を経て積層体の面内方向の端面側202から増幅されて射出される光増幅器であって、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つ以上の電極を含む電極群を有し、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増幅率を変化させる光増幅器。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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、

50

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 1 2】

前記光源部が面発光レーザである請求項 1 1 に記載の光干渉断層計。

【請求項 1 3】

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

10

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 1 4】

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 1 3 に記載の光増幅方法。

20

【請求項 1 5】

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 1 3 または 1 4 に記載の光増幅方法。

【請求項 1 6】

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 1 3 乃至 1 5 のいずれか一項に記載の光増幅方法。

【請求項 1 7】

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 1 3 乃至 1 6 のいずれか一項に記載の光増幅方法。

30

【発明の詳細な説明】

【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。

40

【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

50

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-VCSSELと呼ぶことがある。MEMS-VCSSEL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、VCSSEL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-VCSSELから出た光を、光増幅器(BOA、Booster Optical Amplifier)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。

10

【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、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。

20

【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。

30

【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。

40

【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。

50

【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-VCSSEL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。

10

【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 $g(N, = 1040)$ 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 $g(N, = 1040) / g(N)$ 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と関係を表すグラフ。

20

【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 $g(N,) \cdot L$ 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 $g(N,) \cdot L$ 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。

30

【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 $g(N,) \cdot L$ 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 $g(N,) \cdot L$ との関係を表すグラフ。

40

【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。

50

【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と略することがある) 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。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。

10

【0014】

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。

【0015】

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。

【0016】

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。

20

【0017】

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。

【0018】

(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。

30

【0019】

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。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。

40

【0020】

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

50

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。

【0021】

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。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。

10

【0022】

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。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。

【0023】

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。

【0024】

1つの光増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。

20

【0025】

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。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。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-VCSSELを例に説明する。本例のMEMS-VCSSELは、VCSSEL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。

【0026】

30

（実施形態1）

以下に本発明の実施形態1を示す。

【0027】

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。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。また、波長掃引光源102とSOA104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。

40

【0028】

次に、本実施形態におけるSOAの構成を図2、3に示す。

【0029】

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。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

50

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。

【0030】

次に、本実施形態に係るSOAの製造手順を説明する。

【0031】

まず、GaAs基板210上に、n型クラッド層211として $n\text{-Al}_{0.9}\text{GaAs}$ を、例えばMOCVD（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）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 $\text{GaIn}_{0.3}\text{As}$ 、p型クラッド層212として $p\text{-Al}_{0.9}\text{GaAs}$ 、コンタクト層213として高ドープの $p\text{-GaAs}$ 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 $3\mu\text{m}$ 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。

10

20

【0032】

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、電氣的に絶縁された領域とする。

【0033】

n電極204を形成する前に、基板210部分を研磨により $100\mu\text{m}$ 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。

30

【0034】

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り、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。

【0035】

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。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。

40

【0036】

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。

【0037】

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

50

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構成されていてもよい。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3 μm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。

【0038】

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。

【0039】

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。

10

【0040】

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。

【0041】

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。

【0042】

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。

20

【0043】

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。

【0044】

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。

【0045】

次に、複数の電極の駆動状態を説明する。

30

【0046】

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。

【0047】

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-VCS EL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 2012 Oct 11 48(21) 1331-1333を引用している。

【0048】

40

【数 1】

(i) $1010 \leq \lambda \text{ [nm]} \leq 1080 :$

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

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

$$\mu = 1060$$

10

【0049】

【数 2】

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

$$P = 0$$

20

ここで、 λ : 波長、 P : 光強度である。

【0050】

この掃引スペクトルは、入射光における掃引波長範囲 (1010 ~ 1080 nm) においては、中心波長 1060 nm、中心波長における光強度 20 mW、半値全幅 90 nm 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 0 mW とした形状である。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。

【0051】

30

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。

【0052】

【数 3】

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

ここで、 λ : 波長 (1010 ~ 1080 nm)、 $P_{\text{in}}(\lambda)$: 波長 λ における入射光強度、 $P_{\text{out}}(\lambda)$: 波長 λ における射出光強度とする。また、 $g(N, \lambda)$: 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、 $\Gamma = 0.03$ とした計算結果を示す。

40

【0053】

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。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 $g(N)$ との関係性を求めた (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。

50

【0054】

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。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。

【0055】

まず、最適駆動状態とするための N_g 、 N_a を求める。

10

【0056】

波長1060nmにおけるキャリア密度 N と得られる利得 $g(N, \lambda = 1060)$ との関係を図8に示す。次にこれをもとにして、 $g(N, \lambda = 1060) / g(N)$ を計算した結果を図9に示す。 $g(N, \lambda) / g(N)$ 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 $g(N, \lambda = 1060) / g(N)$ 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 $g(N, \lambda = 1060) = 0$ となる $1.8E+18 / cm^3$ と決定される。

20

【0057】

次に、最適駆動状態とするための L_g を求める。

【0058】

この長さは式Aに、図4より $P_{in}(\lambda = 1060) = 1.55 [mW]$ 、図5より $P_{out}(\lambda = 1060) = 20 [mW]$ 、図6より $g(N = 2.2E+18, \lambda = 1060) = 597 [1/cm]$ 、 $\alpha = 0.03$ の値を代入して得られる。その結果、 $L_g = 1429 [\mu m]$ が導出される。

【0059】

以上より、入射光波長1060nmにおける最適駆動状態は、 $N_g = 2.2E+18 [1/cm^3]$ 、 $N_a = 1.8E+18 [1/cm^3]$ 、 $L_g = 1429 [\mu m]$ と決定される。

30

【0060】

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。

【0061】

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、920、3630 μm 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、2709 μm （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。

40

【0062】

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。

50

【0063】

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 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。なお、 N_g を黒丸、 N_a を白丸で各プロット点を示す。

【0064】

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、1060 nm において最適駆動状態とした $g(N,) \cdot L$ 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。

10

【0065】

本実施形態では目標とする射出光として、中心波長 1060 nm、中心波長における光強度 20 mW、半値全幅 90 nm 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）。

【0066】

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。

【0067】

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。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。

20

【0068】

最適駆動状態とする入射光波長を 1010、1040、1080 nm 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、対象波長範囲内ではらつかせるように設定することが好適構成となる。

【0069】

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）。

30

【0070】

短い長さ（たとえば 10 μm ）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。

【0071】

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。

40

【0072】

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。

【0073】

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 1010 nm における駆動状態（ $L_1 = 417$ [μm]、 $L_2 = 504$ [μm]、 $L_3 = 2709$ [μm]、 $N_1 = 8.0 \times 10^{18}$ [$/\text{cm}^3$]、 $N_2 = N_3 = 3.0 \times 10^{18}$ [$/\text{cm}^3$]) を変えても良い。例えば、 $L_1 = 200$ [μm]、 $L_2 = 217$ [μm]、 $L_3 = 504$ [μm]、 L_4

50

= 2709 [μm]、 $N_1 = N_2 = 8.0 \text{E} + 18 [/ \text{cm}^3]$ 、 $N_3 = N_4 = 3.0 \text{E} + 18 [/ \text{cm}^3]$ へと変えても、実質的には同じ駆動状態と見なせる。

【0074】

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。

(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。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。

10

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。

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。

20

(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。

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。

30

(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。

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。

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。

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。

40

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。

【0075】

(実施形態2)

以下に本発明の実施形態2を示す。

【0076】

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。

【0077】

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

50

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。

【0078】

本実施形態ではたとえば1020、1070 nm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。

【0079】

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 N_1 、 N_2 、 L_g をまとめると図14のようになる。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。

10

【0080】

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、1060 nmにおいて最適駆動状態とした $g(N, L)$ 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。

【0081】

(実施形態3)

以下に本発明の実施形態3を示す。

20

【0082】

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。

【0083】

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。

【0084】

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、 $L_k = 2^m \cdot L_1$ (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、 $L_1 \sim L_8$ を20、40、80、160、320、640、1280、1090 μm(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1080 nm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10 μm未満に抑えることができるようになる。

30

40

【0085】

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。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。

【0086】

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、1060

50

$n m$ において最適駆動状態とした $g(N, \quad) \cdot L$ 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。

【0087】

本実施形態では電極の最小単位を $20 \mu m$ とした例を示しているが、 $10 \mu m$ や $50 \mu m$ や $100 \mu m$ 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、 $10 \mu m$ 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。

【0088】

$L_k = 2^m \cdot L_1$ 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。

【0089】

(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。

【0090】

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。

【0091】

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

【0092】

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。

【0093】

本実施形態ではたとえば 1010 、 1040 、 $1080 nm$ 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。

【0094】

対象波長範囲である $1010 \sim 1080 nm$ 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。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($L_1 = 458 [\mu m]$ 、 $L_2 = 506 [\mu m]$ 、 $L_3 = 2878 [\mu m]$)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。

【0095】

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 、 $1060 nm$ において最適駆動状態とした $g(N, \quad) \cdot L$ 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。

【0096】

(実施形態5)

以下に本発明の実施形態5を示す。

【0097】

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。

【0098】

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

10

20

30

40

50

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。

【0099】

干渉部 304 は、2つのカブラ 310、311 を有している。まず、カブラ 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。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、カブラ 310 を経由してカブラ 311 に入射する。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。

10

【0100】

一方、参照光は参照アーム 308 を経由し、カブラ 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 から射出されてカブラ 311 に入射する。

20

【0101】

カブラ 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、カブラ 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。

30

【0102】

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。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、カブラ 309 が設けられている。なお、k クロック発生部 327、カブラ 309 は光源 301、または SOA 302 に組み込まれていてもよい。

40

【0103】

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 - s c a n と呼ぶ。また、A - s c a n 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 - s c a n、さらに A - s c a n、および B - s c a n 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 - s c a n 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 次元ラスタ走査する場合、高速な走査方向が B - s c a n、B - s c a n をその直交方向に並べて走査する低速な走査方向を C - s c a n と呼ぶ。A - s c a n 及び B - s c a n を行うことで 2 次元の断層像が得ら

50

れ、A - s c a n、B - s c a n及びC - s c a nを行うことで、3次元の断層像を得ることができる。B - s c a n、C - s c a n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。

【0104】

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。また、B - s c a n、C - s c a n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 - s c a n、C - s c a n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。

10

【0105】

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。

【符号の説明】

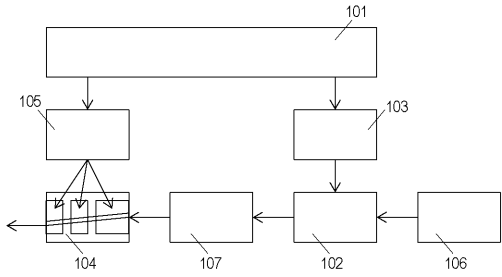
【0106】

- 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

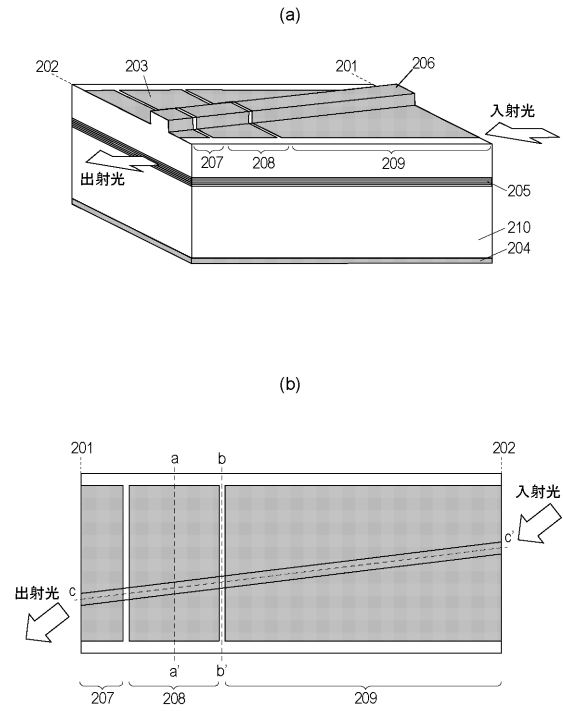
20

30

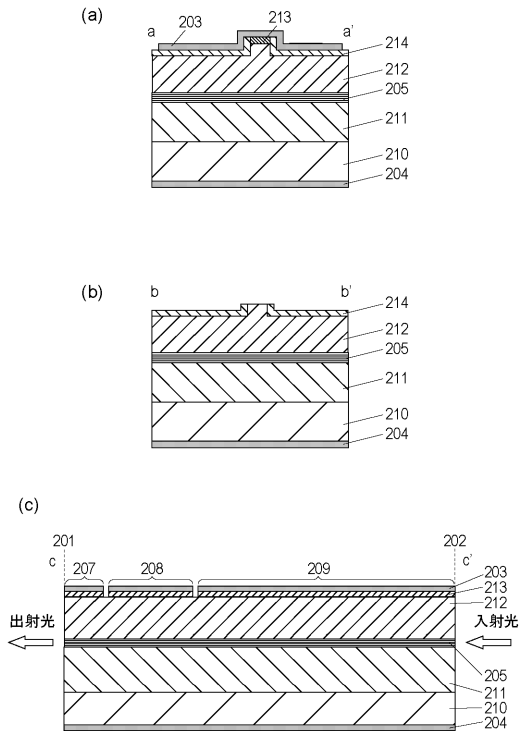
【 図 1 】



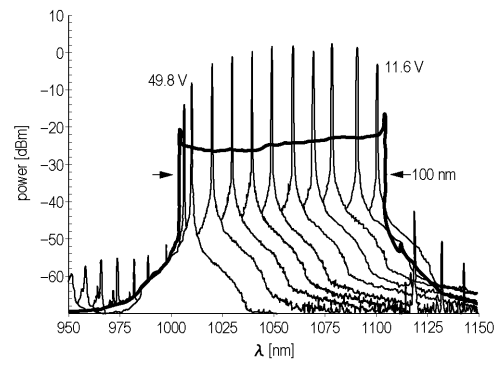
【 図 2 】



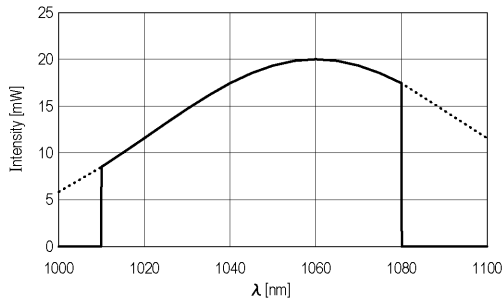
【 図 3 】



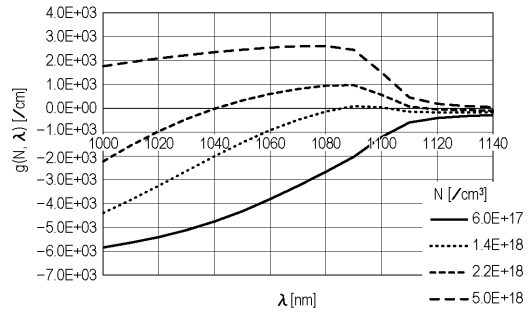
【 図 4 】



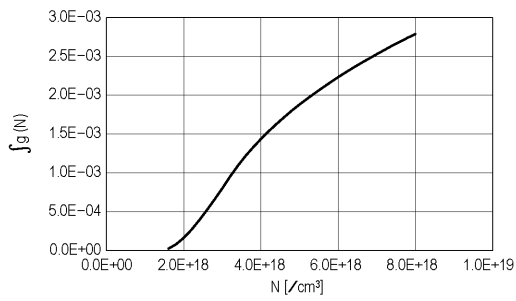
【 図 5 】



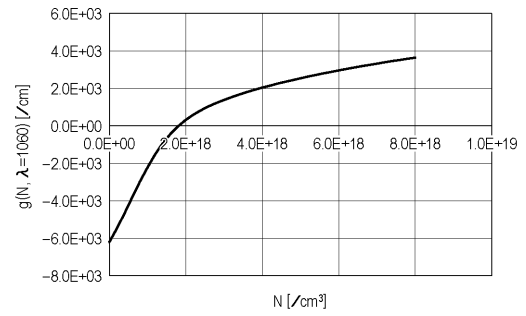
【 図 6 】



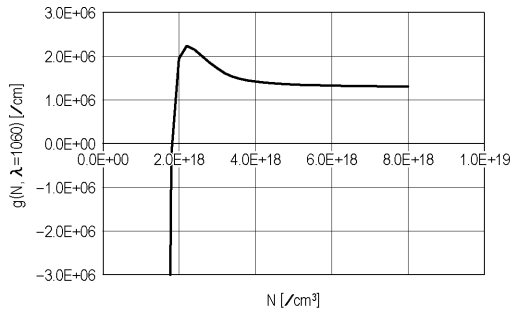
【 図 7 】



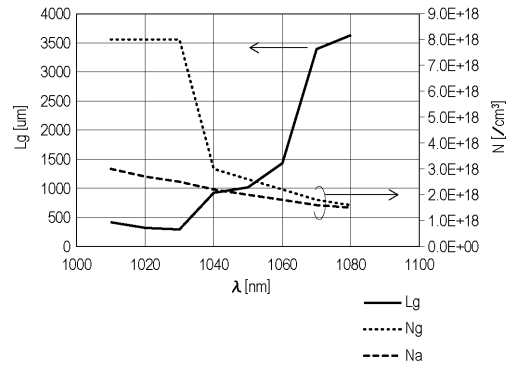
【 図 8 】



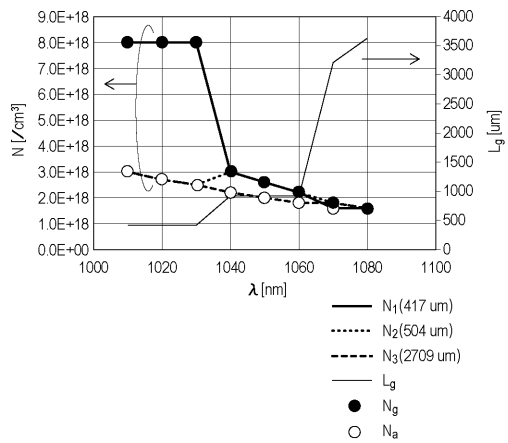
【 図 9 】



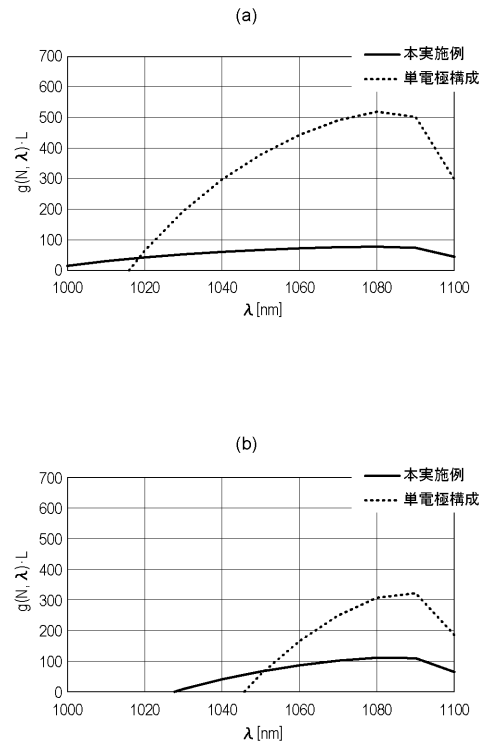
【 図 10 】



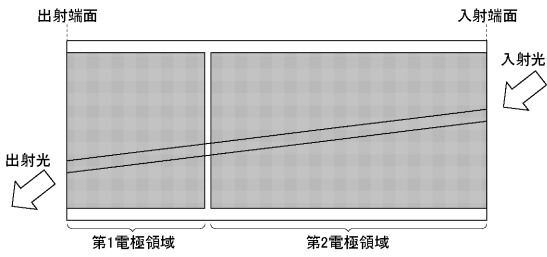
【 図 11 】



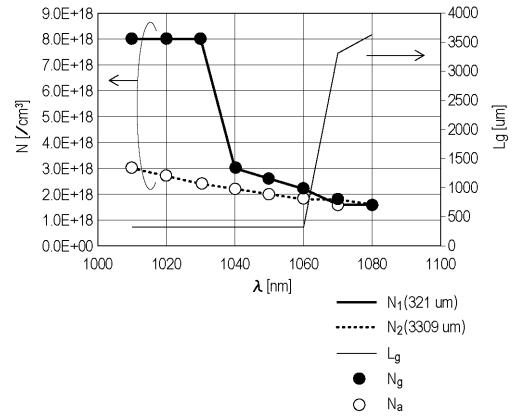
【 図 12 】



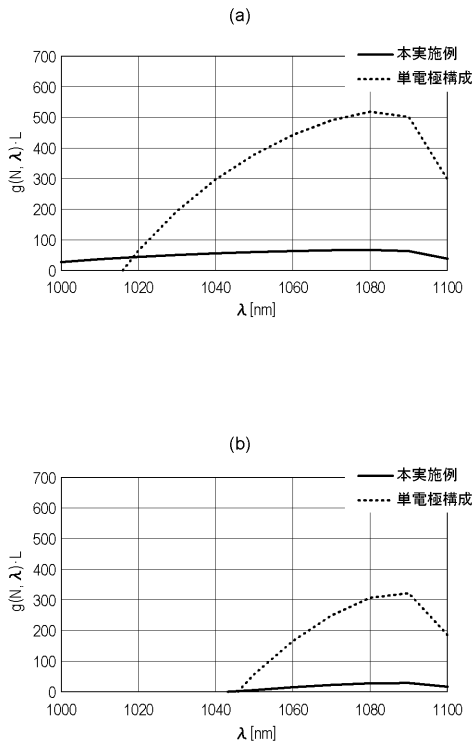
【 図 1 3 】



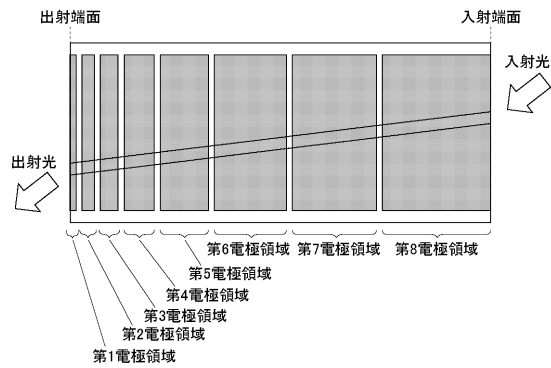
【 図 1 4 】



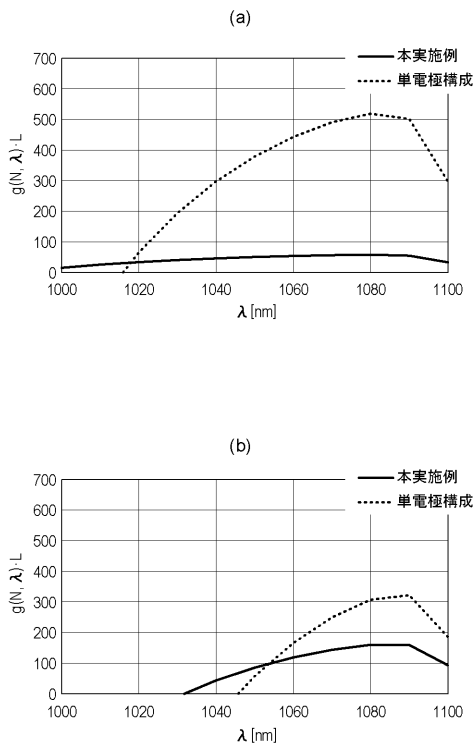
【 図 1 5 】



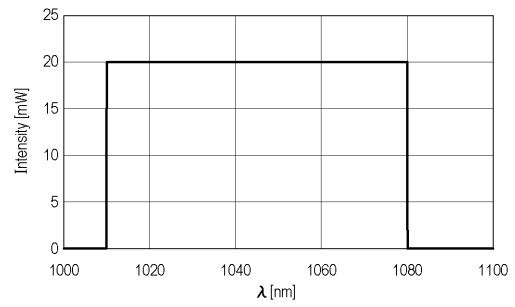
【 図 1 6 】



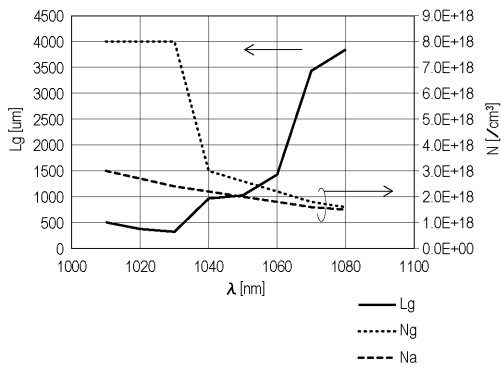
【 図 1 7 】



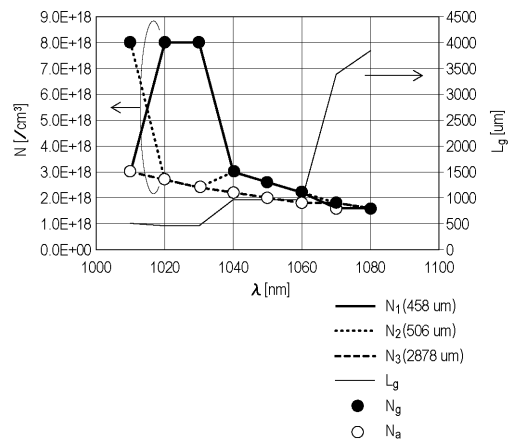
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
A 6 1 B 3/10 (2006.01) A 6 1 B 3/10 R

Fターム(参考) 5F173 AA08 AB65 AB66 AB79 AB82 AH03 AK21 AR06 AS01 SA03
SA26 SC10 SE02 SG15