

(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2009-81321
(P2009-81321A)

(43) 公開日 平成21年4月16日(2009.4.16)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1S 5/0687 (2006.01)	HO1S 5/0687	2K002
HO1S 5/12 (2006.01)	HO1S 5/12	5F173
HO1S 5/125 (2006.01)	HO1S 5/125	
GO2F 1/35 (2006.01)	GO2F 1/35 501	
HO1S 5/024 (2006.01)	HO1S 5/024	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-250431 (P2007-250431)
(22) 出願日 平成19年9月27日 (2007.9.27)

(71) 出願人 000000572
アンリツ株式会社
神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号
(74) 代理人 100080322
弁理士 牛久 健司
(74) 代理人 100104651
弁理士 井上 正
(74) 代理人 100114786
弁理士 高城 貞晶
(72) 発明者 渡邊 宏祐
神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 アンリツデバイス株式会社内
(72) 発明者 森 浩
神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 アンリツ株式会社内

最終頁に続く

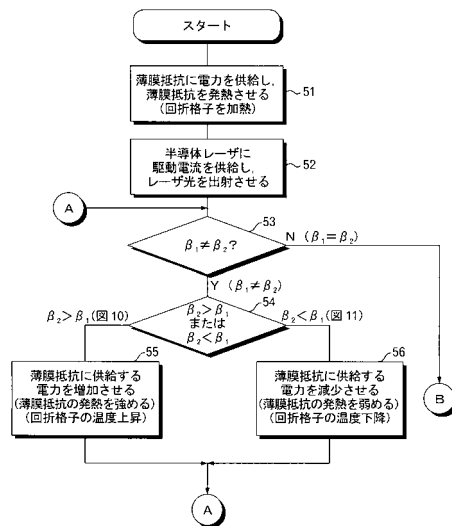
(54) 【発明の名称】 波長安定化レーザー装置および方法、ならびに波長安定化レーザー装置を備えたラマン増幅器

(57) 【要約】

【目的】 出射されるレーザー光の波長を安定化させる。

【構成】 半導体レーザーの回折格子を加熱するための薄膜抵抗が設けられている。薄膜抵抗は、半導体レーザーからレーザー光が出射される前に所定温度に加熱されて、これにより回折格子が所定温度に加熱される(ステップ51)。半導体レーザーからの光が、受光感度特性が異なる2つの受光器に入射する。2つの受光器の電流値に基づいて、レーザー光の波長が所定波長よりも長いことおよび短いことが検知される(ステップ54)。レーザー光の波長が所定波長よりも長いことが検知された場合には薄膜抵抗に対する加熱が弱められる(ステップ55)。レーザー光の波長が所定波長よりも短いことが検知された場合には薄膜抵抗に対する加熱が強められる(ステップ56)。

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

回折格子を含み、前記回折格子を加熱するための発熱体が設けられた半導体レーザ、前記半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が、所定波長よりも長いことおよび短いことを検知する波長ずれ検知手段、ならびに

前記発熱体に対する加熱を制御する加熱制御手段を備え、

前記加熱制御手段は、

前記発熱体を加熱しておき、

前記波長ずれ検知手段によってレーザ光の波長が所定波長よりも長いことが検知された場合には前記発熱体に対する加熱を弱め、前記所定波長よりも短いことが検知された場合には前記発熱体に対する加熱を強めるように、前記発熱体に対する加熱を制御する、波長安定化レーザ装置。

10

【請求項 2】

前記波長ずれ検知手段は、前記半導体レーザから出射される光を受光し、受光した光の波長に応じた電流を出力する第 1 および第 2 の受光器を備え、

前記第 1 および第 2 の受光器の受光感度特性がそれぞれ異なっており、

前記第 1 および第 2 の受光器の受光感度特性は、前記所定波長よりも長い波長の光に対して前記第 1 の受光器の受光感度が前記第 2 の受光器の受光感度よりも大きく、前記所定波長よりも短い波長の光に対して前記第 2 の受光器の受光感度が前記第 1 の受光器の受光感度よりも大きいものである、

20

請求項 1 に記載の波長安定化レーザ装置。

【請求項 3】

前記半導体レーザから出射されるレーザ光のパワーが所定パワーよりも大きいこと、または小さいことを検知するパワー変動検知手段、および

前記半導体レーザに供給する駆動電流を制御する駆動電流制御手段を備え、

前記駆動電流制御手段は、

前記パワー変動検知手段によってレーザ光のパワーが所定パワーよりも大きいことが検知された場合に前記半導体レーザに供給する駆動電流を増加させ、前記所定パワーよりも小さいことが検知された場合に前記半導体レーザに供給する駆動電流を減少させるように、前記駆動電流を制御する、

30

請求項 1 または 2 に記載の波長安定化レーザ装置。

【請求項 4】

前記半導体レーザおよび前記波長ずれ検知手段を備えた半導体レーザ・モジュールと、前記加熱制御手段とが電氣的に接続されている、

請求項 1 または 2 に記載の波長安定化レーザ装置。

【請求項 5】

前記半導体レーザ、前記波長ずれ検知手段および前記パワー変動検知手段を備えた半導体レーザ・モジュールと、前記加熱制御手段および前記駆動電流制御手段とが電氣的に接続されている、

請求項 3 に記載の波長安定化レーザ装置。

40

【請求項 6】

前記発熱体を加熱するための電力を供給する第 1 の電源回路、および前記半導体レーザからレーザ光を出射させるための駆動電流を供給する第 2 の電源回路を備え、前記第 1 の電源回路および第 2 の電源回路が別々に制御される、

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の波長安定化レーザ装置。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の波長安定化レーザ装置、および

前記波長安定化レーザ装置に含まれる前記半導体レーザから出射されるレーザ光が励起光として入射され、誘導ラマン増幅を生じさせる光ファイバ、

を備えたラマン増幅器。

50

【請求項 8】

回折格子を含み、前記回折格子を加熱するための発熱体が設けられた半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を安定化させる方法であって、

前記発熱体を加熱し、

前記半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が、所定波長よりも長いことおよび短いことを検知し、

レーザ光の波長が所定波長よりも長いことが検知された場合には前記発熱体の加熱を弱め、前記所定波長よりも短いことが検知された場合には前記発熱体の加熱を強める、波長安定化方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】**【0001】**

この発明は、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を所望の波長に安定化させる波長安定化レーザ装置および方法、ならびに波長安定化レーザ装置を備えたラマン増幅器に関する。

【背景技術】**【0002】**

特許文献 1、2 には、回折格子を加熱する加熱手段（抵抗膜）を備えた波長可変型の半導体レーザが開示されている。加熱手段（抵抗膜）の温度を変化させることによって回折格子の温度が変化し、これにより半導体レーザから出射されるレーザ光の波長可変が実現される。

20

【特許文献 1】特許第 3064118 号公報

【特許文献 2】特許第 3152424 号公報

【0003】

特許文献 1、2 では、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を変えるために、加熱手段（抵抗膜）による加熱を利用している。しかしながら、半導体レーザを利用する装置やシステムの中には、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が変動しないこと、すなわち、常に一定の波長のレーザ光が出射されることを半導体レーザに要求するものも存在する。

【0004】

30

たとえば、ラマン増幅器がその一例である。ラマン増幅器では、半導体レーザから出射されるレーザ光が励起光として増幅用光ファイバに入射される。増幅用光ファイバにおいて誘導ラマン散乱が生じ、レーザ光の波長（励起光波長）から約 100 nm 程度長波長側に利得が生じる。信号光が増幅用光ファイバに入射すると、上述の増幅用光ファイバ中に生じた利得によって信号光が増幅される。ラマン増幅器では、半導体レーザからの励起光の波長が変動すると、増幅用光ファイバにおいて増幅される信号光の利得が変動し、増幅すべき波長における増幅率が小さくなってしまふ、または大きくなってしまふ。

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

40

この発明は、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を安定化させることを目的とする。

【0006】

この発明はまた、半導体レーザから出射されるレーザ光のパワーを安定化させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

この発明による波長安定化レーザ装置は、回折格子を含み、前記回折格子を加熱するための発熱体が設けられた半導体レーザ、前記半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が、所定波長よりも長いことおよび短いことを検知する波長ずれ検知手段、ならびに前記

50

発熱体に対する加熱を制御する加熱制御手段を備え、前記加熱制御手段は、前記発熱体を加熱しておき、前記波長ずれ検知手段によってレーザ光の波長が所定波長よりも長いことが検知された場合には前記発熱体に対する加熱を弱め、前記所定波長よりも短いことが検知された場合には前記発熱体に対する加熱を強めるように、前記発熱体に対する加熱を制御することを特徴とする。半導体レーザは、活性層および回折格子がレーザ共振軸方向につらなっているブラッグ反射型（DBR（Distributed Bragg Reflector）型）でも、活性層の上方または下方に回折格子が形成されている分布帰還型（DFB（Distributed Feedback）型）のいずれでもよい。また、半導体レーザは、シングルモード発振をする半導体レーザであっても、マルチモード発振をする半導体レーザであってもよい。一実施態様では、前記半導体レーザおよび前記波長ずれ検知手段が一の筐体にパッケージングされ（半導体レーザ・モジュール）、この半導体レーザ・モジュールと、前記加熱制御手段とが電氣的に接続される。

10

【0008】

この発明による波長安定化方法は、回折格子を含み、前記回折格子を加熱するための発熱体が設けられた半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を安定化させる方法であって、前記発熱体を加熱し、前記半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が、所定波長よりも長いことおよび短いことを検知し、レーザ光の波長が所定波長よりも長いことが検知された場合には前記発熱体の加熱を弱め、前記所定波長よりも短いことが検知された場合には前記発熱体の加熱を強めることを特徴とする。

【0009】

半導体レーザに、回折格子を加熱するための発熱体が設けられている。発熱体に電力を供給する（発熱体に電流を通電する）ことによって発熱体は発熱する（加熱される）。

20

【0010】

発熱体が発熱すると、発熱体の熱が回折格子に伝導されて回折格子が加熱される。この状態で、半導体レーザの駆動が開始（半導体レーザからレーザ光が出射）される。

【0011】

半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が、所定波長よりも長いことまたは短いこと（波長ずれ）が検知される。

【0012】

レーザ光の波長が所定波長よりも長いことが検知された場合、発熱体に対する加熱が弱められる。これにより回折格子の温度が低められて、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が短くなる。逆に、レーザ光の波長が所定波長よりも短いことが検知された場合には、発熱体に対する加熱が強められる。これにより回折格子の温度が高められて、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が長くなる。この発明によると、半導体レーザから出射されるレーザ光が、所定波長よりも長い場合であっても、短い場合であっても、発熱体の加熱を制御することによって、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を所定波長に一致させる、または近づけることができ、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長を所定波長に保つ（安定化させる）ことができる。

30

【0013】

一実施態様では、波長ずれ（レーザ光の長波長化または短波長化）は、前記半導体レーザから出射される光を受光し、受光した光の波長に応じた電流を出力する受光器であって、受光感度特性がそれぞれ異なる第1および第2の受光器を利用することによって検知することができる。たとえば、前記第1および第2の受光器の受光感度特性は、前記所定波長よりも長い波長の光に対して前記第1の受光器の受光感度が前記第2の受光器の受光感度よりも大きく、前記所定波長よりも短い波長の光に対して前記第2の受光器の受光感度が前記第1の受光器の受光感度よりも大きいものとすればよい。前記所定波長よりも長い波長の光に対して前記第1の受光器の受光感度が前記第2の受光器の受光感度よりも大きいので、設定波長よりも長い波長の光が第1および第2の受光器に入射すると、第1の受光器から出力される受光電流の電流値が、第2の受光器から出力される受光電流の電流値よりも大きくなる。逆に、前記所定波長よりも短い波長の光に対しては前記第2の受光器

40

50

の受光感度が前記第1の受光器の受光感度よりも大きいので、設定波長よりも長い波長の光が第1および第2の受光器に入射すると、第2の受光器から出力される受光電流の電流値が、第1の受光器から出力される受光電流の電流値よりも大きくなる。第1および第2の受光器から出力される受光電流の電流値を比較することによって、半導体レーザから出射されるレーザ光の波長が所定波長よりも短いことおよび長いことを、いずれの場合も検知することができる。

【0014】

一実施態様では、前記半導体レーザから出射されるレーザ光のパワーが所定パワーよりも大きいこと、または小さいことを検知するパワー変動検知手段、および前記半導体レーザに供給する駆動電流を制御する駆動電流制御手段がさらに備えられる。たとえば、前記半導体レーザ、前記波長ずれ検知手段およびパワー変動検知手段が一の筐体にパッケージングされ（半導体レーザ・モジュール）、この半導体レーザ・モジュールと、前記加熱制御手段および前記駆動電流制御手段とが電氣的に接続される。

10

【0015】

前記駆動電流制御手段は、前記パワー変動検知手段によってレーザ光のパワーが所定パワーよりも大きいことが検知された場合に前記半導体レーザに供給する駆動電流を増加させ、前記所定パワーよりも小さいことが検知された場合に前記半導体レーザに供給する駆動電流を減少させるように、前記駆動電流を制御する。レーザ光の波長のみならず、レーザ光のパワーについても安定化させることができる。前記パワー変動検知手段には、前記半導体レーザから出射される光を受光し、受光した光のパワーに応じた値の電流を出力する受光器を用いることができる。上述した波長のずれを検知するために用いられる第1、第2の受光器を、パワーの変動を検知するためにも用いてもよい。

20

【0016】

好ましくは、波長安定化レーザ装置は、前記発熱体を加熱する（発熱させる）ための電力を供給する第1の電源回路、および前記半導体レーザからレーザ光を出射させるための駆動電流を供給する第2の電源回路を備え、前記第1の電源回路および第2の電源回路が別々に制御される。第1の電源回路から供給される電力を制御することによって、発熱体の加熱の低減および発熱体のさらなる加熱（加熱の増大）が行われる。第2の電源回路から供給される駆動電流を制御することによって、半導体レーザから出射されるレーザ光のパワー（強さ）が制御される。

30

【0017】

この発明による波長安定化レーザ装置は、所望の波長のレーザ光を安定的に出射することができるので、ラマン増幅器における励起光用の光源として利用するのに適している。この発明は、上述した波長安定化レーザ装置、および波長安定化レーザ装置に含まれる半導体レーザから出射されるレーザ光が励起光として入射され、誘導ラマン増幅を生じさせる光ファイバを備えたラマン増幅器も提供している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

図1は波長/出力安定化レーザ装置のブロック図を示している。図2は波長/出力安定化レーザ装置に用いられる半導体レーザ・モジュール2の外観を、図3は半導体レーザ・モジュール2の内部の構成をそれぞれ示している。

40

【0019】

波長/出力安定化レーザ装置1は、半導体レーザ10から出射されるレーザ光の波長および出力（パワー）を安定化するための装置である。波長/出力安定化レーザ装置1は、半導体レーザ・モジュール2、制御回路3、ヒータ用電源回路4およびレーザ用電源回路5を備えている。半導体レーザ・モジュール2には、レーザ光を出射する半導体レーザ10、集光、コリメート等のためのレンズ21、レーザ光の逆進を防ぐ光アイソレータ22、2つの受光器23、24、および半導体レーザ10から出射されるレーザ光が入射する光ファイバ25の一部がパッケージングされている。

【0020】

50

図2および図3を参照して、この実施例における半導体レーザ・モジュール2はバタフライ・タイプと呼ばれるもので、パッケージ(筐体)2aの内部から外部に貫通するコネクタ・ピン41が、パッケージ2aの両側面にそれぞれ7本ずつ、計14本設けられている。図3においてコネクタ・ピン41のそれぞれの近傍にピン番号を示す。パッケージ2aの一端面にはさらに、パッケージ2aの内部から外部に貫通する円柱状のフェルール42が設けられており、このフェルール42内を光ファイバ25が通っている。

【0021】

半導体レーザ・モジュール2のパッケージ2a内の底面に、半導体レーザ・モジュール2の内部を冷却するためのペルチェ素子20が固定されている。ペルチェ素子20上に基板26が固定されており、この基板26上に半導体レーザ10がサブ・マウント47を介して固定され、さらにレンズ21、光アイソレータ22および2つの受光器23、24が固定されている。レンズ21および光アイソレータ22は半導体レーザ10の出射端面10a側に位置し、2つの受光器23、24は半導体レーザ10の後方端面10b側に位置している。

10

【0022】

詳細は後述するが、この実施例の半導体レーザ10の内部には回折格子が形成されており、半導体レーザ10の上面にはこの回折格子を加熱するための薄膜抵抗(ヒータ)18が設けられている。薄膜抵抗18は12番ピンおよび13番ピンにワイヤによって接続されており、12番ピンおよび13番ピンを通じてヒータ用電源回路4からの電力(電流)が薄膜抵抗18に供給される。ヒータ用電源回路4から供給される電力によって薄膜抵抗18が発熱する(加熱される)。薄膜抵抗18の発熱が半導体レーザ10に伝達されて回折格子が加熱される。

20

【0023】

半導体レーザ10の上面の電極は11番ピンに、下面の電極はサブ・マウント47を介して10番ピンにそれぞれワイヤによって接続されている。10番ピンおよび11番ピンを介してレーザ用電源回路5からの電流が半導体レーザ10に供給されると、半導体レーザ10からレーザ光が出射される。レーザ光は上述したレンズ21、光アイソレータ22を介して、光ファイバ25に導かれる。

【0024】

受光器23、24は、半導体レーザ10の後方端面10bからわずかに出射する光を受光して、受光した光の波長に対応する電流値の電流を出力する。後述するように、受光器23、24は受光感度特性が互いに異なっており、受光器23、24から出力される電流の電流値に基づいて、半導体レーザ10から出射されるレーザ光の波長の変動および出力パワーの変動が検知される。受光器23の2つの電極は3番ピンおよび4番ピンに、受光器24の2つの電極は8番ピンおよび9番ピンに、それぞれワイヤによって接続されている。3番ピンおよび4番ピンと、8番ピンおよび9番ピンを介して、受光器23、24からの電気信号(電流値)が制御回路3に与えられる。制御回路3はレーザ光の波長が所定波長となるように上述した薄膜抵抗18に対する加熱を制御し、かつ検知されたレーザ光の出力パワーが所定パワーとなるように半導体レーザ10に供給する駆動電流を制御する。受光器23、24の受光感度特性および制御回路3の処理の詳細は後述する。

30

【0025】

ペルチェ素子20の2つの電極は1番ピンおよび14番ピンに接続されている。1番ピンおよび14番ピンに与えられる電流(ペルチェ素子20に電流を供給する電源回路は図1において省略されている)によって、ペルチェ素子20は冷却素子として駆動する。

40

【0026】

図4(A)は半導体レーザ10の平面図を、図4(B)は図4(A)のB-B線に沿う半導体レーザ10の断面図をそれぞれ示している。図4(B)においてハッチングの図示は省略されている。また、図4(A)および図4(B)では、分かりやすくするために、後述する活性層12の幅、半導体層の厚さ等がかなり強調して描かれている。

【0027】

半導体レーザ10は、発光領域10AとDBR(Distributed Bragg Reflector)領域10Bとが光共振軸方向に連なって形成されている。発光領域10Aではn型InP(インジウム

50

-リン)基板11の上に活性層12がストライプ状に積層されている。他方、DBR領域10Bではn型InP基板1上に所定ピッチの回折格子14がストライプ状に形成され、その上にInGaAsP(インジウム-ガリウム-ヒ素-リン)ガイド層15がストライプ状に積層されている。活性層12の光軸とガイド層15の光軸は一致している。さらに活性層12およびガイド層15の上層にp型InPクラッド層13が積層され、活性層12およびガイド層15の両側にはp型InPおよびn型InPからなる電流阻止層(図示略)が積層されている。

【0028】

p型InPクラッド層13の上面にp型電極16が、基板11の下面にn型電極19がそれぞれ設けられている。DBR領域10Bの範囲のp型電極16の上にはさらに、SiO₂絶縁膜17および薄膜抵抗18がこの順番に設けられている。薄膜抵抗18は回折格子14が形成されている範囲に沿って形成された直線状部分18cを含み、直線状部分18cの両端のそれぞれに、直線状部分18cに連続してワイヤボンディング・パッド18a, 18bが形成されている。薄膜抵抗18の材料には、窒化タンタル、白金、金などを用いることができる。

10

【0029】

半導体レーザ10の光出射端面10aには反射防止膜31が、後方端面10bには反射膜32がそれぞれ設けられている。

【0030】

半導体レーザ10の上面に設けられたp型電極16および下面に設けられたn型電極19に電流を流すと、発光領域10Aに形成されている活性層12において光が発生する。活性層12において発生した光は活性層12およびガイド層15に沿って進行し、半導体レーザ10の後方端面10b(反射膜32)と回折格子14との間で反射され、これにより光が共振してレーザ光となり、ガイド層15を介して光出射端面10aから出射される。この実施例において、半導体レーザ10は、1450nmの波長のレーザ光を出射するように前記活性層12および回折格子14が設計されている。

20

【0031】

一般に半導体レーザは、半導体基板上に、組成、不純物の種類と量等の異なる複数の半導体層が積層されて構成される。活性層12およびガイド層15は、その一または複数層内に光を閉じ込めることができる形態で形成される。回折格子14は上述のように半導体基板11上に形成してもよいし、半導体基板11とは異なる半導体層に形成してもよい。

【0032】

図5は半導体レーザ10の断面を示すもので、活性層12、回折格子14および薄膜抵抗18の位置をより正確に示している。図5に示すように、半導体レーザ10において、活性層12および回折格子14は半導体レーザ10の上面に近い部分(薄膜抵抗18の上面から2μm~4μm程度の深さ)に位置しており、薄膜抵抗18は回折格子14の近くに位置している。このため、薄膜抵抗18が発熱するとその近くに位置する回折格子14は局所的に加熱されるが、薄膜抵抗18から比較的遠い位置にある活性層12や半導体基板11等に伝わる熱量は少ない。また、上述した半導体レーザ10の下方に位置するペルチェ素子20(図3参照)による冷却効果は、活性層12を含む半導体レーザ10のほぼ全体に及ぶが、薄膜抵抗18による加熱が行われると、ペルチェ素子20による冷却効果は回折格子14を含む薄膜抵抗18の近傍範囲には及ばない。

30

40

【0033】

上述したように、半導体レーザ10の後方端面10bからはわずかに光が出射する。後方端面10bから出射される光は出射端面10aから出射されるレーザ光と同じ波長を持つ。また、後方端面10bから出射される光のパワーと出射端面10aから出射されるレーザ光のパワーは比例関係を有している。半導体レーザ10の後方端面10bから出射される光が2つの受光器23, 24によって受光される(図1および図3参照)。

【0034】

受光器23, 24は、それぞれフォト・ダイオード(光電変換素子)の光受光面に誘電体多層膜(バンドパスフィルタ)をコーティングしたものであり、受光器23にコーティングされた誘電体多層膜と、受光器24にコーティングされた誘電体多層膜は層厚が互いに異なっ

50

ている。このため、受光器23, 24は、互いに異なる受光感度特性および受光電流（出力電流）特性をもつ。

【0035】

図6は、受光器23（以下、第1の受光器23という）および受光器24（以下、第2の受光器24という）の受光感度特性（受光感度と受光される光の波長の関係）を示すグラフである。図7は、第1の受光器23および第2の受光器24に所定パワーの光が入射したときの受光電流（出力電流）特性（受光電流（出力電流）と受光される光の波長の関係）を示すグラフである。図6および図7において、太い実線によって第1の受光器23の受光感度特性および受光電流特性が、細い実線によって第2の受光器24の受光感度特性および受光電流特性がそれぞれ示されている。

10

【0036】

図6を参照して、第1の受光器23および第2の受光器24は、いずれも入射する光の波長に応じて受光感度が変化する（受光感度特性の波長依存性）。第1の受光器23の受光感度特性のグラフ（太線）および第2の受光器24の受光感度特性のグラフ（細線）はいずれも上凸の放物曲線を描くが、受光感度が最大となる波長が異なっている。すなわち、第1の受光器23の受光感度が最大となる波長は、半導体レーザ10が出射するレーザ光の設定波長1450nmよりも長い。他方、第2の受光器24の受光感度が最大となる波長は1450nmよりも短い。第1の受光器23および第2の受光器24は半導体レーザ10の設定波長1450nmに対応する受光感度が一致しており、このため第1の受光器23の受光感度特性のグラフ（太線）および第2の受光器24の受光感度特性のグラフ（細線）は、設定波長1450nmに対応する受光感度において交差している。

20

【0037】

所定パワーの光が第1の受光器23および第2の受光器24に入射したときの受光電流（出力電流）特性を示すグラフ（図7）も、図6に示す受光感度特性を示すグラフと同様の上凸の放物曲線を描く。

【0038】

図6に示す受光感度特性を示すグラフおよび図7に示す受光電流（出力電流）特性を示すグラフを参照して、半導体レーザ10の後方端面10bから出射されて第1および第2の受光器23, 24に入射する光の波長（半導体レーザ10の出射端面10aから出射するレーザ光の波長と等しい）が所定波長である1450nmよりも短い波長であるとき、第2の受光器24の受光感度は第1の受光器23の受光感度よりも常に大きく（図6）、このため第2の受光器24から出力される受光電流の電流値は第1の受光器23から出力される受光電流の電流値よりも常に大きくなる（図7）。他方、半導体レーザ10の後方端面10bから出射されて第1および第2の受光素子23, 24に入射する光の波長が所定波長である1450nmよりも長い波長であるとき、第1の受光器23の受光感度は第2の受光器24の受光感度よりも常に大きく（図6）、第1の受光器23から出力される受光電流の電流値は第2の受光器24から出力される受光電流の電流値よりも常に大きくなる（図7）。したがって、第1の受光器23および第2の受光器24から出力される受光電流を比較することにより、半導体レーザ10から出射されるレーザ光の波長が所定波長よりも長い波長であることおよび短い波長であること（波長ずれ）を検知することができる。

30

40

【0039】

さらに、半導体レーザ10から出射されるレーザ光の波長が所定波長であり、かつレーザ光のパワーが所定パワーである場合、半導体レーザ10の後方端面10bから出射された光を受光した第1, 第2の受光器23, 24から出力される受光電流の電流値は、いずれも同じ所定値を指す（図7）。レーザ光のパワーが所定パワーよりも大きい場合、第1, 第2の受光器23, 24から出力される受光電流の電流値は所定値よりも大きい値を指し、逆にレーザ光のパワーが所定パワーよりも小さい場合には第1, 第2の受光器23, 24から出力される受光電流の電流値は所定値よりも小さい値を指す。したがって、第1の受光器23および第2の受光器24から出力される受光電流に基づいて、半導体レーザ10から出射されるレーザ光のパワーが所定パワーよりも大きいことおよび小さいことを検知することもできる。

50

【 0 0 4 0 】

図 8 および図 9 は、波長 / 出力安定化レーザ装置 1 の制御回路 3 の動作の流れを示すフローチャートである。

【 0 0 4 1 】

はじめに、制御回路 3 はヒータ用電源回路 4 にヒータ加熱電力（電流）の出力を指示する。ヒータ用電源回路 4 から電力が薄膜抵抗 18 に供給されると（パッド 18 a および 18 b 間に電流が通電されると）、薄膜抵抗 18 が発熱する。すなわち、半導体レーザ 10 からレーザ光を出射させる前に薄膜抵抗 18 が、所定温度たとえば 60℃ に加熱される。薄膜抵抗 18 の温度と薄膜抵抗 18 に供給する電力の関係はあらかじめ計測されており、供給する電力量に応じて薄膜抵抗 18 の温度を把握することができる。上述したように、薄膜抵抗 18 は半導体レーザ 10 の上面に設けられており、回折格子 14 が薄膜抵抗 18 の近傍に存在する（図 4（A）、図 4（B）、図 5 参照）。このため、薄膜抵抗 18 が発熱すると、熱伝導によって回折格子 14 が所定温度に加熱される（ステップ 51）。

10

【 0 0 4 2 】

制御回路 3 からレーザ用電源回路 5 に駆動電流の出力指示が与えられる。レーザ用電源回路 5 から半導体レーザ 10 に所定の駆動電流が供給される（ステップ 52）。半導体レーザ 10 の光出射面 10 a から所定の出力パワーのレーザ光が出射される。

【 0 0 4 3 】

上述したように、半導体レーザ 10 の後方端面 10 b からわずかに出射する光は第 1、第 2 の受光器 23、24 に入射する。第 1、第 2 の受光器 23、24 からの受光電流（出力電流）が制御回路 3 に与えられる。

20

【 0 0 4 4 】

第 1、第 2 の受光器 23、24 からの受光電流値に基づいて、制御回路 3 は次のように動作する。

【 0 0 4 5 】

（1）第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 と、第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 が一致していない場合（ステップ 53 で Yes）

【 0 0 4 6 】

第 1 の受光器 23 および第 2 の受光器 24 は、半導体レーザ 10 から出射されるレーザ光が設定波長（1450 nm）である場合、同じ値の電流を出力する（図 7）。これに対し、第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 と第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 が一致していない場合、半導体レーザ 10 から出射されているレーザ光の波長が設定波長ではないこと、すなわち、レーザ光の波長が長波長側にずれている、または短波長側にずれていることが分かる。レーザ光の波長ずれは、半導体レーザ 10（半導体レーザ・モジュール 2）の使用環境（周囲温度等）、半導体レーザ 10（特に活性層 12）の発熱、半導体レーザ 10 の劣化等に起因する。

30

【 0 0 4 7 】

図 10 を参照して、レーザ光の波長が短波長側にずれている場合（レーザ光の波長 $\lambda_1 < 1450 \text{ nm}$ ）、第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 は第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 よりも大きくなる。すなわち、第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 が第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 よりも大きいことを検知することによって、半導体レーザ 10 から出射されているレーザ光の波長が短波長側にずれていることを判定することができる（ステップ 54 で $I_2 > I_1$ ）。

40

【 0 0 4 8 】

レーザ光の波長が短波長側にずれていることが判定された場合、制御回路 3 は、ヒータ用電源回路 4 から薄膜抵抗 18 に供給される電力が増加するように、ヒータ用電源回路 4 を制御する。これにより、薄膜抵抗 18 の発熱が強められて回折格子 14 の温度が上がる（ステップ 55）。回折格子 14 の温度上昇に伴って、回折格子 14 によって反射されて発振する光の発振波長が長波長側にシフトする（発振波長が長くなる）。これにより半導体レーザ 10 から出射されるレーザ光の波長は設定波長に近づく。

50

【 0 0 4 9 】

図 1 1 を参照して、レーザ光の波長が長波長側にずれている場合（レーザ光の波長 $\lambda_2 > 1450 \text{ nm}$ ）、第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 は第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 よりも大きくなる。すなわち、第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 が第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 よりも大きいことを検知することによって、レーザ光の波長が長波長側にずれていることを判定することができる（ステップ 54 で $\lambda_2 < \lambda_1$ ）。

【 0 0 5 0 】

レーザ光の波長が長波長側にずれていることが判定された場合、制御回路 3 は、ヒータ用電源回路 4 から薄膜抵抗 18 に供給される電力が減少するように、ヒータ用電源回路 4 を制御する。これにより、薄膜抵抗 18 の発熱が弱められて回折格子 14 の温度が下がる（ステップ 56）。回折格子 14 の温度下降に伴って、回折格子 14 によって反射されて発振する光の発振波長が短波長側にシフトする（発振波長が短くなる）。このため、半導体レーザ 10 から出射されるレーザ光の波長が設定波長に近づくことになる。

10

【 0 0 5 1 】

第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 と第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 の比較、および薄膜抵抗 18 への供給電力の調節が繰返されることによって（ステップ 53 ~ 56）、半導体レーザ 10 から出射されるレーザ光の波長は設定波長に一致する。半導体レーザ 10 から安定した波長のレーザ光を出射させることができる。

【 0 0 5 2 】

(2) 第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 および第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 が一致しているが、その値が所定値でない場合（ステップ 53 で NO、ステップ 57 で NO）

20

【 0 0 5 3 】

上述したように、半導体レーザ 10 から出射されているレーザ光の波長が設定波長であれば、第 1、第 2 の受光器 23、24 はいずれも同じ値の電流を出力する。さらに、半導体レーザ 10 が所定の（あらかじめ設定された）パワーのレーザ光を出射していれば、第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 および第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 は、いずれも所定の同じ電流値を指す（図 7 参照、ステップ 57 で YES）。しかしながら、周囲温度の変動や半導体レーザ 10 が経年劣化等によって、所定の駆動電流を半導体レーザ 10 に供給しても、半導体レーザ 10 が所定の出力パワーのレーザ光を出射しないことがある。

30

【 0 0 5 4 】

第 1 の受光器 23 の受光電流値 I_1 と第 2 の受光器 24 の受光電流値 I_2 が一致しているものの、所定の電流値でない場合（ステップ 57 で NO）、半導体レーザ 10 は所定パワーのレーザ光を出射していないこと、すなわち、レーザ光のパワーが所定パワーよりも大きいこと、または小さいことが分かる。

【 0 0 5 5 】

図 9 および図 1 2 を参照して、レーザ光の出力パワーが所定パワーよりも大きい場合、第 1、第 2 の受光器 23、24 の受光電流値 I_1 、 I_2 は、所定パワーに対応する電流値を超える電流値 I_1 を指す。すなわち、第 1、第 2 の受光器 23、24 の受光電流値 I_1 、 I_2 が、所定電流値を超える電流値 I_1 を指していることを検知することによって、半導体レーザ 10 から出射されているレーザ光の出力パワーが所定パワーよりも大きいことが分かる（ステップ 58 で $I_1 = I_2 > I_{\text{set}}$ ）。なお、所定パワーに対応する電流値は制御回路 3 に制御値として設定されており、設定されている電流値 I_{set} が、第 1、第 2 の受光器 23、24 の受光電流値 I_1 、 I_2 との比較に用いられる。

40

【 0 0 5 6 】

レーザ光の出力パワーが所定パワーよりも大きいことが判定された場合、制御回路 3 は、レーザ用電源回路 5 から半導体レーザ 10 に供給される駆動電流が減少するように、レーザ用電源回路 5 を制御する（ステップ 59）。これにより、半導体レーザ 10 から出射されるレーザ光のパワーが減少し、所定パワーに近づくことになる。

【 0 0 5 7 】

逆に、レーザ光の出力パワーが所定パワーよりも小さい場合、第 1、第 2 の受光器 23、

50

24の受光電流値 I_1 , I_2 は, 所定パワーに対応する電流値 I_{ref} よりも小さくなる。すなわち, 第1, 第2の受光器23, 24の受光電流値 I_1 , I_2 が電流値 I_{ref} よりも小さい電流値 I_{th} を指していることを検知することによって, レーザ光の出力パワーが所定パワーよりも小さいことが分かる(ステップ58で $I_1 = I_2 < I_{th}$)。

【0058】

レーザ光の出力パワーが所定パワーよりも小さいことが判定された場合, 制御回路3は, レーザ用電源回路5から半導体レーザ10に供給する駆動電流が増加するように, レーザ用電源回路5を制御する(ステップ60)。これにより, 半導体レーザ10から出射されるレーザ光のパワーが増加し, 所定パワーに近づくことになる。

【0059】

第1, 第2の受光器23, 24の受光電流値 I_1 , I_2 と所定パワーに対応する電流値 I_{ref} との比較, ならびに半導体レーザ10への駆動電流の調節が繰り返されることによって(ステップ57~60), 半導体レーザ10から出射されるレーザ光の出力パワーが所定パワーとなる。半導体レーザ10から安定した出力パワーのレーザ光を出射させることができる。

【0060】

なお, この発明による実施形態は図1のブロック図に限定されず, 制御回路3にはデータ(たとえば, 上述の電流値 I_{ref})を記憶するためのメモリ等を含ませてもよい。

【0061】

また, 上述した実施形態では, 第1, 第2の受光器23, 24を用いてレーザ光の波長の変動およびレーザ光の出力パワーの変動を検知しているが, レーザ光の出力パワーの変動については, 第1, 第2の受光器23, 24とは別の(レーザ光の出力パワーの変動検知に専用の)受光器(第3の受光器)を用いて検知するようにしてもよい。

【0062】

図13は, 上述した波長/出力安定化レーザ装置1を備えたラマン増幅器を示すブロック図である。

【0063】

ラマン増幅器70では, 波長/出力安定化レーザ装置1に含まれる半導体レーザ10から出力されたレーザ光が励起光としてカプラ72を介して増幅用光ファイバ71に入力する。増幅用光ファイバ71において誘導ラマン散乱が生じ, レーザ光の波長(励起光波長)から約100nm程度長波長側に利得が生じる。増幅用光ファイバ71に信号光が入力すると, 増幅用光ファイバ71中に生じた利得によって信号光が増幅される(ラマン増幅)。波長/出力安定化レーザ装置1は, 安定した波長および出力パワーのレーザ光を出射し, このレーザ光が励起光として用いられるので, ラマン増幅器70において増幅される信号光の波長帯を正確に制御することができる。なお, ラマン増幅器70に波長/出力安定化レーザ装置1を用いる場合, 半導体レーザ10としてマルチモード発振する半導体レーザを用いるのが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】波長/出力安定化レーザ装置の構成を示すブロック図である。

【図2】半導体レーザ・モジュールの外観を示す斜視図である。

【図3】半導体レーザ・モジュールの内部構造を示す。

【図4】(A)は半導体レーザの平面図を, (B)は(A)のB-B線に沿う半導体レーザの断面図をそれぞれ示す。

【図5】半導体レーザの断面図を示す。

【図6】第1および第2の受光器の受光感度特性を示す。

【図7】第1および第2の受光器の受光電流特性を示す。

【図8】波長/出力安定化レーザ装置の制御回路の動作の流れを示すフローチャートである。

【図9】波長/出力安定化レーザ装置の制御回路の動作の流れを示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図10】レーザ光の波長が短波長側にずれた場合の第1および第2の受光器の受光電流を示す。

【図11】レーザ光の波長が長波長側にずれた場合の第1および第2の受光器の受光電流を示す。

【図12】レーザ光のパワーが増大した場合、および減少した場合の第1および第2の受光器の受光電流を示す。

【図13】ラマン増幅器のブロック図である。

【符号の説明】

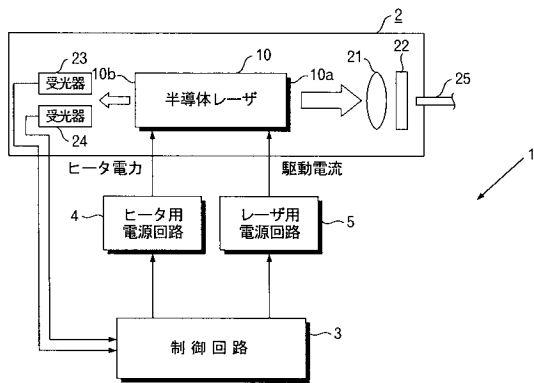
【0065】

- 1 波長/出力安定化レーザ装置
- 2 半導体レーザ・モジュール
- 3 制御回路
- 4 ヒータ用電源回路
- 5 レーザ用電源回路
- 10 半導体レーザ
- 12 活性層
- 14 回折格子
- 18 薄膜抵抗
- 23 第1の受光器
- 24 第2の受光器
- 70 ラマン増幅器

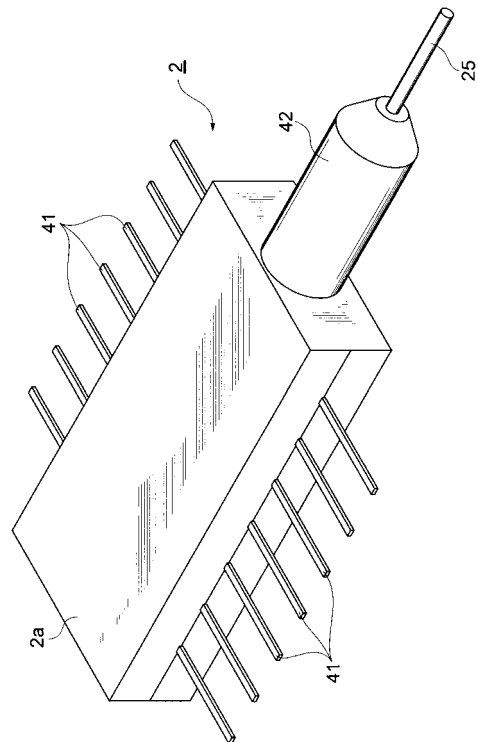
10

20

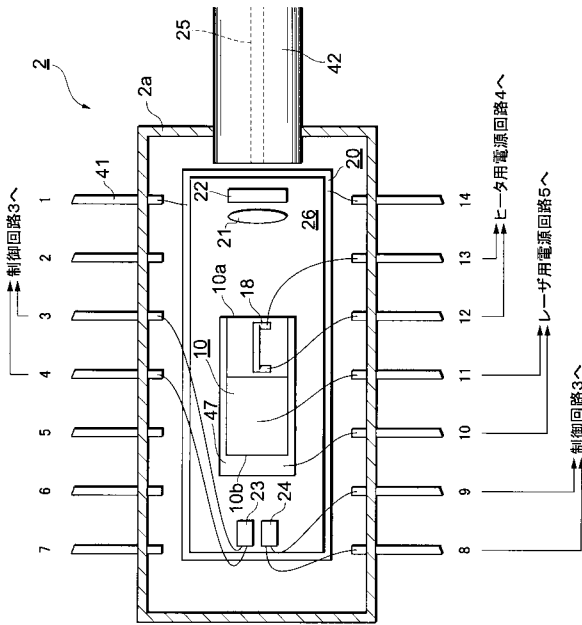
【図1】



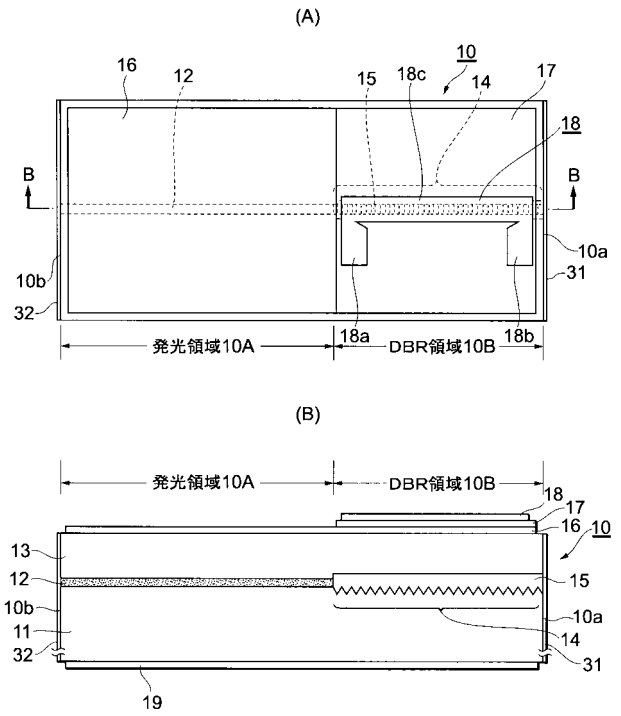
【図2】



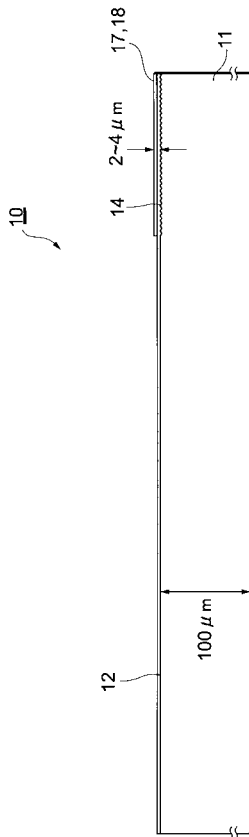
【図3】



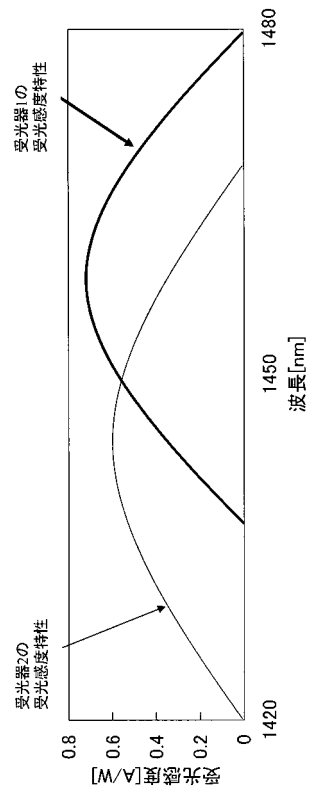
【図4】



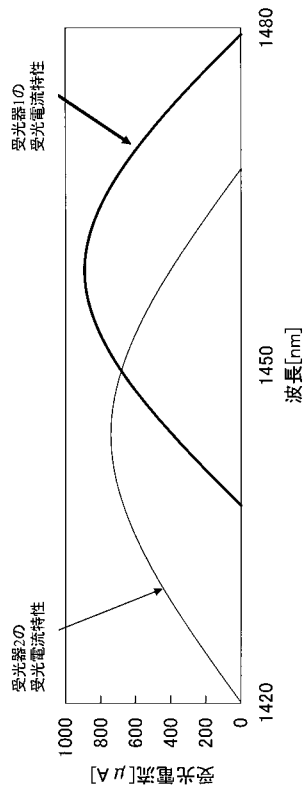
【図5】



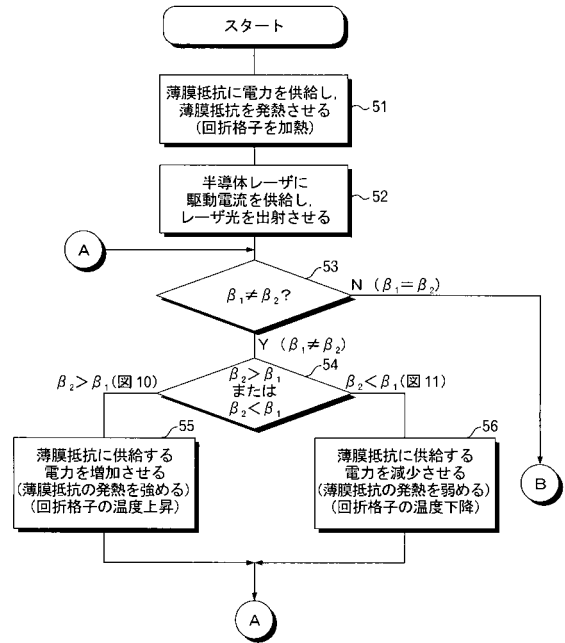
【図6】



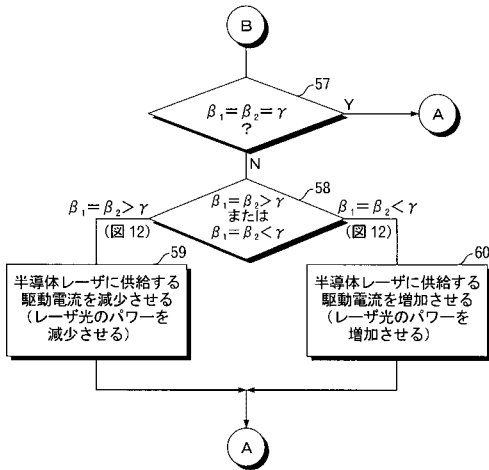
【 図 7 】



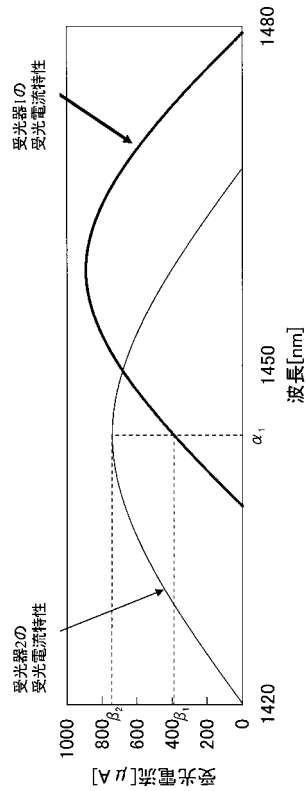
【 図 8 】



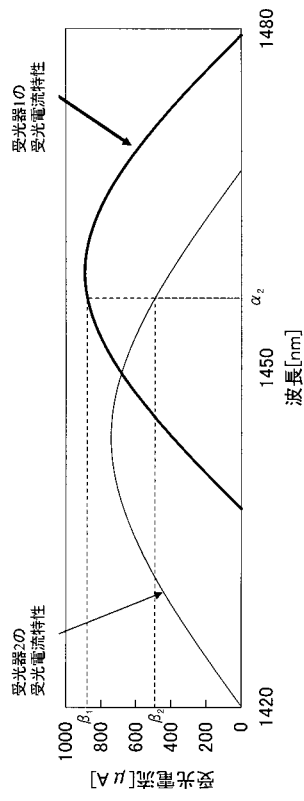
【 図 9 】



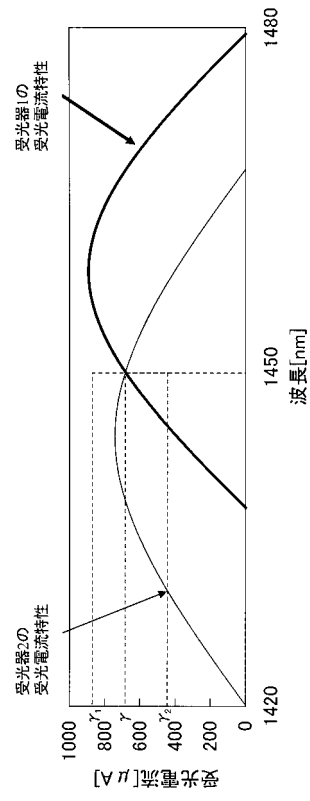
【 図 10 】



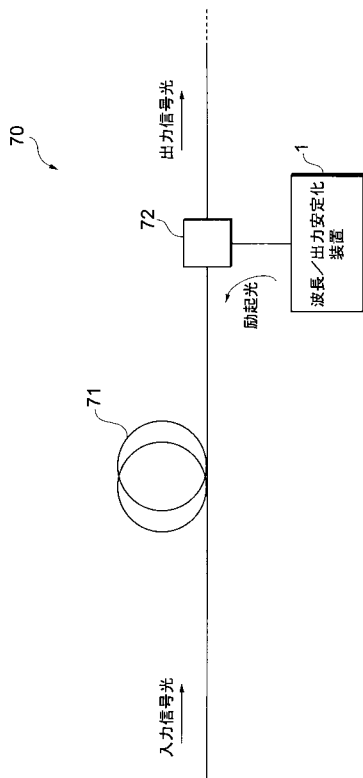
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 1 S 5/022 (2006.01) H 0 1 S 5/022

Fターム(参考) 2K002 AB30 BA01 DA10 EA30 GA05 HA23
5F173 AD30 AH12 AR03 AR13 MD43 ME02 ME23 SA06 SE01 SE02
SF03 SF32 SF33 SF42 SF46 SF49 SF64 SF76 SG04 SG21