

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4403220号
(P4403220)

(45) 発行日 平成22年1月27日(2010.1.27)

(24) 登録日 平成21年11月13日(2009.11.13)

(51) Int.Cl.

F 1

HO 1 S 5/068 (2006.01)
HO 1 S 5/026 (2006.01)HO 1 S 5/068
HO 1 S 5/026 6 1 6

請求項の数 25 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2003-511363 (P2003-511363)
 (86) (22) 出願日 平成14年7月5日 (2002.7.5)
 (65) 公表番号 特表2005-506686 (P2005-506686A)
 (43) 公表日 平成17年3月3日 (2005.3.3)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/021412
 (87) 國際公開番号 WO2003/005510
 (87) 國際公開日 平成15年1月16日 (2003.1.16)
 審査請求日 平成16年9月30日 (2004.9.30)
 (31) 優先権主張番号 09/900,426
 (32) 優先日 平成13年7月6日 (2001.7.6)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 509261359
 エムコア コーポレーション
 アメリカ合衆国、ニューメキシコ州 87
 123、エスイー アルバカーキ、リサー
 チ ロード 10420
 (74) 代理人 100104156
 弁理士 龍華 明裕
 (72) 発明者 ダイバー アンドリュー ジョン
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
 301、パロ アルト、ホーソン アベニ
 ュー 512
 (72) 発明者 リー ヒュア
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95
 132、サンノゼ、バーガンディー ドラ
 イブ 3399

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ゲイン媒体の両端の電圧によるレーザ損失の評価および調整

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光路に沿って光ビームを生成するゲイン媒体を励起する段階と、
前記光路の中に位置してレーザ共振器の範囲を決める第1反射器および第2反射器が、
前記ゲイン媒体にフィードバック光ビームとして前記光ビームの一部をフィードバックす
る段階と、

前記光路の中に位置する光学部材をディザリングし、前記フィードバック光ビームの波
長ディザを生成する段階と、

前記ゲイン媒体の両端の電圧変調を検知する段階と、

検知された前記電圧変調に応じて誤差信号を生成する段階と、

前記誤差信号に応じて、前記レーザ共振器の光路長を調整する段階と
 を備える方法。

【請求項2】

前記ゲイン媒体が、半導体ゲイン媒体を有する請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する段階が、前記光学部材の位置をデ
ィザリングする段階を含む請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する段階が、前記光学部材の屈折率を
ディザリングする段階を含む請求項1または2に記載の方法。

10

20

【請求項 5】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する段階が、前記光学部材に印加される電圧をディザリングする段階を含む請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 6】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する段階が、前記光学部材の温度をディザリングする段階を含む請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 7】

前記光学部材が、前記レーザ共振器のエンドミラー、グリッドジェネレータ、およびチャネルセレクタの一つを有する請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

前記レーザ共振器の光路長を調整する段階が、前記ゲイン媒体の両端で検知された電圧を減少させるべく、前記レーザ共振器の光路長を調整する段階を含む請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する段階が、前記レーザ共振器が有する複数の前記光学部材をディザリングする段階を含み、

前記レーザ共振器の光路長を調整する段階が、前記複数の光学部材を調整して前記レーザ共振器の光路長を調整する段階を含む請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 10】

前記複数の光学部材が順次ディザリングおよび調整される請求項 9 に記載の方法。

20

【請求項 11】

前記複数の光学部材が同時にディザリングおよび調整される請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

光路に沿って光ビームを放射するゲイン媒体と、

前記光路の中に位置し、レーザ共振器の範囲を決め、前記ゲイン媒体にフィードバック光ビームとして前記光ビームの一部を反射する第 1 反射器および第 2 反射器と、

前記ゲイン媒体に動作可能なように接続され、前記ゲイン媒体の両端の電圧を検知する電圧センサと、

前記光路中に位置し、前記ゲイン媒体の両端の電圧変調を誘起させるべく、前記フィードバック光ビームの波長ディザを誘起させる光学部材と、

30

前記電圧センサと前記光学部材とに動作可能なように接続され、前記波長ディザを誘起すべく前記光学部材をディザリングし、前記電圧センサが検知した前記電圧変調に応じて、前記レーザ共振器の光路長を調整するコントロールシステムとを備えるレーザ装置。

【請求項 13】

前記コントロールシステムが、

前記光学部材をディザリングする変調信号発生器と、

前記光学部材を調整することにより、前記レーザ共振器の光路長を調整する経路長アジャスターとを有する請求項 12 に記載のレーザ装置。

40

【請求項 14】

前記光路の中に位置する複数の前記光学部材を更に備え、

前記コントロールシステムが、前記複数の光学部材のそれぞれ動作可能なように接続され、前記波長ディザを誘起すべく前記複数の光学部材をディザリングし、前記電圧センサが検知した前記電圧変調に応じて、前記複数の光学部材を調整することにより、前記レーザ共振器の光路長を調整する請求項 12 または 13 に記載のレーザ装置。

【請求項 15】

前記コントロールシステムが、前記複数の光学部材を順次ディザリングおよび調整する請求項 14 に記載のレーザ装置。

50

【請求項 16】

前記コントロールシステムが、前記複数の光学部材を同時にディザリングおよび調整する請求項 14に記載のレーザ装置。

【請求項 17】

前記光学部材が、前記第1反射器を有する請求項 12 乃至 16 のいずれかに記載のレーザ装置。

【請求項 18】

前記光学部材が、グリッドジェネレータ、チャネルセレクタ、および電気光学同調素子の一つを有する請求項 12 乃至 16 のいずれかに記載のレーザ装置。

【請求項 19】

前記コントロールシステムが、前記光学部材の位置、前記光学部材に印加される電圧、および前記光学部材の温度の一つを調整することにより、前記レーザ共振器の光路長を調整する請求項 12 乃至 18 のいずれかに記載のレーザ装置。

【請求項 20】

前記第2反射器が、前記ゲイン媒体の上に形成された部分的に光ビームを反射する端面を有する請求項 12 乃至 19 のいずれかに記載のレーザ装置。

【請求項 21】

光路に沿って光ビームを生成する手段と、

前記光路の中に位置し、レーザ共振器の範囲を決め、前記光ビームを生成する手段にフィードバック光ビームとして前記光ビームの一部をフィードバックする手段と、

前記光路の中に位置する光学部材をディザリングし、前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する手段と、

前記光ビームを生成する手段の両面の電圧変化を検知する手段と、

前記電圧変化に対応する誤差信号を生成する手段と、

前記誤差信号に応じて、前記レーザ共振器の光路長を調整する手段とを備える装置。

【請求項 22】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する手段が、前記フィードバック光ビームの前記波長ディザを生成するため、前記光学部材の位置をディザリングする手段を有し、

前記光学部材が、前記フィードバック光ビームをフィードバックする反射器を有する請求項 21 に記載の装置。

【請求項 23】

前記フィードバック光ビームの波長ディザを生成する手段が、前記フィードバック光ビームの前記波長ディザを生成するため、前記光学部材の屈折率をディザリングする手段を有する請求項 21 に記載の装置。

【請求項 24】

前記光学部材の屈折率をディザリングする手段が、前記光学部材の両端に印加されている電圧をディザリングする手段を有する請求項 23 に記載の装置。

【請求項 25】

前記光学部材の屈折率をディザリングする手段が、前記光学部材の温度をディザリングする手段を有する請求項 23 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、レーザに関する光学損失特性を検査または評価するシステムおよび方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

光通信システムにおける帯域幅の増加のデマンドによって、複数で別々のデータ・スト

10

20

30

40

50

リームを、单一光ファイバによってコンカレントに信号伝送するためのより精巧なレーザの使用が導入されて来ている。各データ・ストリームは、特定のチャネル波長で作動するトランスマッタ・レーザーに対応する出力ビームに変調され、レーザからの変調出力が、それぞれのチャネルの送信のために单一の光ファイバに纏められる。国際電気通信連合(ITU)は、現在約0.4ナノメートル、即ち約50GHzのチャネルセパレーションを定めている。このチャネルセパレーションに依れば、現在利用可能なファイバおよびファイバ・アンプの帯域幅の範囲内において、单一の光ファイバによって128までのチャネルを伝搬する事が可能である。ファイバ技術における改良と、より広い帯域幅へと常に増加するデマンドによって、将来的にはチャネルセパレーションがより狭くなる事が予想され、レーザ送信装置がより高い精度を有する事が要求されるであろう。なお、本出願に対する外国の特許出願においては下記の文献が発見または提出されている。

- 【特許文献1】米国特許第3,788,743号明細書
- 【特許文献2】米国特許第3,899,748号明細書
- 【特許文献3】米国特許第3,921,099号明細書
- 【特許文献4】米国特許第3,965,440号明細書
- 【特許文献5】米国特許第3,967,211号明細書
- 【特許文献6】米国特許第4,309,671号明細書
- 【特許文献7】米国特許第4,410,992号明細書
- 【特許文献8】米国特許第4,460,977号明細書
- 【特許文献9】米国特許第4,504,950号明細書
- 【特許文献10】米国特許第4,560,246号明細書
- 【特許文献11】米国特許第4,583,227号明細書
- 【特許文献12】米国特許第4,730,105号明細書
- 【特許文献13】米国特許第4,770,047号明細書
- 【特許文献14】米国特許第4,839,614号明細書
- 【特許文献15】米国特許第4,843,233号明細書
- 【特許文献16】米国特許第4,847,854号明細書
- 【特許文献17】米国特許第4,870,269号明細書
- 【特許文献18】米国特許第4,932,782号明細書
- 【特許文献19】米国特許第4,934,816号明細書
- 【特許文献20】米国特許第4,994,677号明細書
- 【特許文献21】米国特許第5,022,745号明細書
- 【特許文献22】米国特許第5,028,395号明細書
- 【特許文献23】米国特許第5,058,124号明細書
- 【特許文献24】米国特許第5,103,457号明細書
- 【特許文献25】米国特許第5,115,677号明細書
- 【特許文献26】米国特許第5,124,993号明細書
- 【特許文献27】米国特許第5,141,316号明細書
- 【特許文献28】米国特許第5,163,063号明細書
- 【特許文献29】米国特許第5,172,185号明細書
- 【特許文献30】米国特許第5,181,078号明細書
- 【特許文献31】米国特許第5,181,214号明細書
- 【特許文献32】米国特許第5,185,643号明細書
- 【特許文献33】米国特許第5,222,070号明細書
- 【特許文献34】米国特許第5,225,930号明細書
- 【特許文献35】米国特許第5,245,626号明細書
- 【特許文献36】米国特許第5,251,222号明細書
- 【特許文献37】米国特許第5,270,791号明細書
- 【特許文献38】米国特許第5,289,491号明細書
- 【特許文献39】米国特許第5,305,330号明細書

10

20

30

40

50

【特許文献 4 0】米国特許第 5 , 3 1 9 , 6 6 8 号明細書	
【特許文献 4 1】米国特許第 5 , 3 2 1 , 7 1 7 号明細書	
【特許文献 4 2】米国特許第 5 , 3 3 1 , 6 5 1 号明細書	
【特許文献 4 3】米国特許第 5 , 3 4 7 , 5 2 7 号明細書	
【特許文献 4 4】米国特許第 5 , 3 4 9 , 4 3 9 号明細書	
【特許文献 4 5】米国特許第 5 , 3 4 9 , 4 4 0 号明細書	
【特許文献 4 6】米国特許第 5 , 3 7 3 , 5 1 5 号明細書	
【特許文献 4 7】米国特許第 5 , 3 8 7 , 9 7 4 号明細書	
【特許文献 4 8】米国特許第 5 , 4 1 2 , 4 7 4 号明細書	
【特許文献 4 9】米国特許第 5 , 4 1 2 , 6 7 6 号明細書	10
【特許文献 5 0】米国特許第 5 , 4 1 4 , 2 8 0 号明細書	
【特許文献 5 1】米国特許第 5 , 4 1 8 , 8 0 0 号明細書	
【特許文献 5 2】米国特許第 5 , 4 2 0 , 6 8 7 号明細書	
【特許文献 5 3】米国特許第 5 , 4 2 8 , 7 0 0 号明細書	
【特許文献 5 4】米国特許第 5 , 4 3 8 , 5 7 9 号明細書	
【特許文献 5 5】米国特許第 5 , 4 4 4 , 7 2 4 号明細書	
【特許文献 5 6】米国特許第 5 , 4 5 0 , 2 0 2 号明細書	
【特許文献 5 7】米国特許第 5 , 4 7 3 , 6 2 5 号明細書	
【特許文献 5 8】米国特許第 5 , 5 4 3 , 9 1 6 号明細書	
【特許文献 5 9】米国特許第 5 , 5 8 3 , 6 3 8 号明細書	20
【特許文献 6 0】米国特許第 5 , 5 9 4 , 7 4 4 号明細書	
【特許文献 6 1】米国特許第 5 , 6 0 6 , 4 3 9 号明細書	
【特許文献 6 2】米国特許第 5 , 6 3 1 , 7 3 6 号明細書	
【特許文献 6 3】米国特許第 5 , 6 7 3 , 1 2 9 号明細書	
【特許文献 6 4】米国特許第 5 , 7 1 2 , 7 0 4 号明細書	
【特許文献 6 5】米国特許第 5 , 7 1 9 , 6 7 4 号明細書	
【特許文献 6 6】米国特許第 5 , 7 3 7 , 1 0 9 号明細書	
【特許文献 6 7】米国特許第 5 , 7 5 1 , 7 5 0 号明細書	
【特許文献 6 8】米国特許第 5 , 7 6 0 , 3 9 1 号明細書	
【特許文献 6 9】米国特許第 5 , 7 7 7 , 7 7 3 号明細書	30
【特許文献 7 0】米国特許第 5 , 8 0 2 , 0 8 5 号明細書	
【特許文献 7 1】米国特許第 5 , 8 1 2 , 7 1 6 号明細書	
【特許文献 7 2】米国特許第 5 , 8 2 5 , 7 9 2 号明細書	
【特許文献 7 3】米国特許第 5 , 8 4 8 , 0 9 2 号明細書	
【特許文献 7 4】米国特許第 5 , 8 7 2 , 8 8 1 号明細書	
【特許文献 7 5】米国特許第 5 , 8 8 6 , 7 8 5 号明細書	
【特許文献 7 6】米国特許第 5 , 9 1 7 , 1 8 8 号明細書	
【特許文献 7 7】米国特許第 5 , 9 4 3 , 3 5 2 号明細書	
【特許文献 7 8】米国特許第 5 , 9 4 6 , 3 3 1 号明細書	
【特許文献 7 9】米国特許第 5 , 9 9 1 , 0 6 1 号明細書	40
【特許文献 8 0】米国特許第 6 , 0 1 8 , 5 3 5 号明細書	
【特許文献 8 1】米国特許第 6 , 0 3 4 , 7 9 9 号明細書	
【特許文献 8 2】米国特許第 6 , 0 4 0 , 9 5 0 号明細書	
【特許文献 8 3】米国特許第 6 , 0 4 4 , 0 9 5 号明細書	
【特許文献 8 4】米国特許第 6 , 0 6 1 , 3 6 9 号明細書	
【特許文献 8 5】米国特許第 6 , 0 6 4 , 5 0 1 号明細書	
【特許文献 8 6】米国特許第 6 , 0 8 1 , 5 3 9 号明細書	
【特許文献 8 7】米国特許第 6 , 0 8 4 , 6 9 5 号明細書	
【特許文献 8 8】米国特許第 6 , 1 0 8 , 3 5 5 号明細書	
【特許文献 8 9】米国特許第 6 , 1 1 5 , 1 2 1 号明細書	50

- 【特許文献 9 0】米国特許第 6 , 1 5 1 , 3 3 7 号明細書
 【特許文献 9 1】米国特許第 6 , 1 8 1 , 7 1 7 号明細書
 【特許文献 9 2】米国再発行特許発明第 3 7 , 0 4 4 号明細書
 【特許文献 9 3】米国特許第 6 , 1 9 2 , 0 5 8 号明細書
 【特許文献 9 4】米国特許第 6 , 2 0 1 , 6 3 8 号明細書
 【特許文献 9 5】米国特許第 6 , 2 0 5 , 1 5 9 号明細書
 【特許文献 9 6】米国特許第 6 , 2 1 5 , 8 0 2 号明細書
 【特許文献 9 7】米国特許第 6 , 2 2 9 , 8 3 5 号明細書
 【特許文献 9 8】米国特許第 6 , 2 3 3 , 0 4 5 号明細書
 【特許文献 9 9】米国特許第 6 , 2 4 6 , 4 8 0 号明細書 10
 【特許文献 1 0 0】米国特許第 6 , 2 4 9 , 3 6 4 号明細書
 【特許文献 1 0 1】米国特許第 6 , 2 4 9 , 3 6 5 号明細書
 【特許文献 1 0 2】米国特許第 6 , 2 5 2 , 7 1 8 号明細書
 【特許文献 1 0 3】米国特許第 6 , 2 5 9 , 7 1 2 号明細書
 【特許文献 1 0 4】米国特許第 6 , 2 6 3 , 0 0 4 号明細書
 【特許文献 1 0 5】米国特許第 6 , 2 8 2 , 2 1 5 号明細書
 【特許文献 1 0 6】米国特許第 6 , 3 0 1 , 2 8 0 号明細書
 【特許文献 1 0 7】米国特許第 6 , 3 0 4 , 5 8 6 号明細書
 【特許文献 1 0 8】米国特許第 6 , 3 3 0 , 2 5 3 号明細書
 【特許文献 1 0 9】米国特許第 6 , 3 3 1 , 8 9 2 号明細書 20
 【特許文献 1 1 0】米国特許第 6 , 3 3 7 , 6 6 0 号明細書
 【特許文献 1 1 1】米国特許第 6 , 3 6 6 , 5 9 2 号明細書
 【特許文献 1 1 2】米国特許第 6 , 3 6 6 , 6 8 9 号明細書
 【特許文献 1 1 3】米国特許第 6 , 4 0 4 , 5 3 8 号明細書
 【特許文献 1 1 4】米国特許第 6 , 4 4 1 , 9 3 3 号明細書
 【特許文献 1 1 5】米国特許第 6 , 4 7 0 , 0 3 6 号明細書
 【特許文献 1 1 6】米国特許第 6 , 5 3 2 , 0 9 1 号明細書
 【特許文献 1 1 7】米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 0 4 8 2 9 7 号明細書
 【特許文献 1 1 8】米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 1 2 6 3 4 5 号明細書
 【特許文献 1 1 9】米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 1 3 6 1 0 4 号明細書 30
 【特許文献 1 2 0】欧州特許第 0 9 2 4 6 2 8 号明細書
 【特許文献 1 2 1】国際公開第 9 8 / 0 5 1 0 5 号パンフレット
 【特許文献 1 2 2】国際公開第 9 8 / 4 4 4 2 4 号パンフレット
 【特許文献 1 2 3】国際公開第 0 0 / 4 9 6 8 9 号パンフレット
 【特許文献 1 2 4】国際公開第 0 1 / 0 4 9 9 9 号パンフレット
 【特許文献 1 2 5】国際公開第 0 2 / 0 7 8 1 3 7 号パンフレット
 【特許文献 1 2 6】国際公開第 0 3 / 0 0 5 5 0 0 号パンフレット
 【特許文献 1 2 7】国際公開第 0 3 / 0 0 5 5 0 1 号パンフレット
 【特許文献 1 2 8】国際公開第 0 3 / 0 0 5 5 1 2 号パンフレット
 【非特許文献 1】Shtengel, G E et al.: "Internal Optical Loss Measurements in 1.3 μm InGaAsP Laser", Electronics Letters, IEE Stevenage, GB, vol. 31, No. 14, Jul. 6, 1995. 40
 【非特許文献 2】Ketelsen, L.J.P.; "Simple Technique For Measuring Cavity Loss in Semiconductor Lasers", Electronics Letters, vol. 30, No. 17, Aug. 18, 1994. International Search Report, Oct. 11, 2002.
 【非特許文献 3】Favre et al.: 'External-Cavity Semiconductor Laser With 15 nm Continuous Tuning Range', Electronics Letters Jun. 19, 1986.
 【非特許文献 4】Macleod, H.A. in Thin Film Optical Filters 2nd Edition, McGraw-Hill, 1989, pp. 244-269.
 【非特許文献 5】Mellis et al.: 'Miniature Packaged External-Cavity Semiconductor 50

Laser With 50Ghz Continuous Electrical Tuning Range' Electronics Letters Apr. 22, 1988.

【非特許文献 6】Siegman A. E., "An Introduction to Lasers and Masers", McGraw-Hill, Inc., 1971.

【非特許文献 7】Takashahi, H., Temperature Stability of Thin-Film Narrow-Bandpass Filters Produced by Ion-Assisted Deposition Applied Optics vol. 34 No. 4 Feb. 1, 1995.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

テレコミュニケーション・トランスマッタ・レーザー中の光の送信パワーを最大限にし、波長安定性を維持するために、トランスマッタの製造、組立て、および運転中に様々なステップが採用され、トランスマッタは、レーザ運転時における光損失を最小限にするようになされる。一般的に、2つの方法、即ち、レーザ出力パワーの測定およびレーザ閾値電流の測定が、光損失を特徴づけるために使用される。例えば、外部共振型ダイオード・レーザでは、ゲイン媒体に光を向けるかフィードバックするために、エンドミラーが使用される。エンドミラーが傾斜しているか、適切に調節されない場合、共振器へフィードバックされる光量に損失が生じる。一旦エンドミラーが極小損失に調節されれば、ミラーは製造時に適所に固定されて良い。若しくは、エンドミラーの傾斜に関する損失が運転中に監視され、連続的に損失を最小化しても良い。一例として、DFB（分散形フィードバック）レーザのゲイン・セクションへ光をフィードバックするブリッジ格子の間隔を調整する事が挙げられる。

10

【0004】

最小損失を確認する際、光学パワー測定および閾値測定の双方が欠点を有する。光学パワーを測定する際、最小損失は、必ずしも最大出力パワーに対応しない。例えば、損失がゲイン媒体外部で生じる時のように、損失がゲイン媒体の全体にわたって完全に分布しないと仮定すると、レーザは、損失に対してより多くのパワーを伝達する為にパワーの内部分布を変えるであろう。損失が増加する事により、特定の状況に依存して、レーザ出力を計測されるパワーは増加するか、同じであるか、または減少する。出力パワーを共振器の損失と関連付ける式はしばしば解くのが非常に難しく、出力パワーは、特定の損失部材のアライメントに関する共振器内の損失を質的にも正しく指示しない。ゲイン媒体を励起するパワーの合計は、比較的信頼できる共振器の相対的損失の指標であるが、この量は測定するのが難しい。

20

【0005】

最小損失を決定するためにレーザ閾値電流を測定することは、さらに多くの欠点を有する。レーザ閾値電流を測定する事の利点は、最小のレーザ閾値電流が最小の共振器損失に対応しているという事である。レーザ閾値が最初に観察される電流を決定するために、レーザ閾値電流はゲイン領域に印加された電流の調節により通常は決定される。重要な欠点は、ゲイン媒体の温度（およびその寸法）が他の結果と共に変わるので、印加電流が変化する事によって、ゲイン媒体の光路長または厚さが変わってしまう、ということである。光路長が変化することによって、レーザ運転時の波長が変更され、また、共振器内の損失が、波長に依存する他の損失と共に最小でなければならない時、あるいは特定の動作周波数で損失を最小限にしなければならない時、レーザ閾値を測定するのが困難であるか、不可能になる。更に、レーザ光線を照射する動作が最初に観察される際の電流が測定されるので、レーザ閾値電流は、高パワーおよび高電流、または一定パワーおよび一定電流において、損失を最小限にするために使用することが出来ない。

30

【0006】

帯域幅の増加の必要性を満たすために、より精巧なトランスマッタ・レーザーが要求されており、製造・組立て後に生ずる損失とレーザの運転に関する損失とを修正する能力を伴う、損失を評価するための改良されたシステムおよび方法が必要となるであろう。

40

50

【課題を解決するための手段】**【0007】**

本発明は、レーザ・ゲイン領域の両端の電圧を監視することにより、半導体ゲイン媒体を用いるレーザに関する光学的損失特性を検査または調査するシステムおよび方法を提供する。本発明は、ゲイン領域の両端の電圧を監視することにより、共振器内の損失を確定するレーザの運転方法、様々な損失要素に関する損失プロファイルを最適化するべくレーザ運転中に共振器内の損失要素を調節する方法、および外部共振器レーザの波長の安定化および制御のための方法を提供する。本発明は、ゲイン領域の外部の損失部材からのゲイン領域中に対する光学フィードバックが、レーザ運転中にゲイン領域の両端の電圧によって正確に検知出来る、という事実を利用する。

10

【0008】

一実施形態において、本発明は、光路に沿ったコヒーレントなビームを放射するゲイン領域の両端の電圧を監視するステップを備えるレーザ共振器を制御・運転するための、および、監視された電圧に従ってレーザ共振器に関する光損失を確定するための方法である。本方法は、ゲイン媒体の両端で監視された電圧に従ってレーザ共振器の損失特性を調節するステップを更に備えていて良い。損失特性を調整するステップは、レーザ共振器の光路中に配置された損失部材の位置、または他の特性を調節するステップを備えても良い。レーザは外部共振器レーザであって良く、また、損失部材は、例えば、半導体ゲイン媒体の外部に配置されるエンドミラー、または同調可能フィルタを備えて良い。グリッド・ジエネレータ、チャネル・セレクタ、コリメート光学系、偏光光学系、および他の光学要素の様な複数の追加の損失部材が、光路中に、さもなければ外部共振器に関して存在して良く、これらの要素のそれぞれに関する損失が評価されて良く、損失部材のそれぞれの調節が、ゲイン媒体の両端で監視された電圧に従って実行されても良い。

20

【0009】

ある実施形態において、損失特性の評価および損失部材の調整は、損失部材に周波数変調ディザを導入することによって行われても良く、これは、監視される電圧によって検知可能である。周波数ディザの伝搬特性を示す誤差信号、そして、損失部材に関する損失特性は監視電圧から導出され、レーザ共振器損失プロファイルを制御するべく、損失部材を調節するために使用される。複数の損失部材が存在する場合、各損失部材に関する損失特性を示す対応する誤差信号を提供するために、別々の周波数ディザが各損失部材に導入されて良い。各損失部材の調整と同様に、各損失部材への周波数ディザの導入が連続的に行われても良い。もしくは、各周波数ディザの伝搬特性をゲイン媒体の両端で監視される電圧によって検知するために、および、外部共振器の損失プロファイルを制御するための損失部材のそれを同時に調節するために、別々の、干渉しない周波数ディザがそれぞれの損失部材に同時に導入されて良い。

30

【0010】

損失部材が2つ以上の位置に変更出来、レーザ電圧がそれぞれの位置で測定可能である例で、ディザが使用されて良い。その後、見かけ上の動作点はより良好なレーザ電圧の位置に設定されて良い。各部材のディザリングが別々の時間に生じるように順番に並べることによって、複数の部材が上記の方法で最適化されて良い。

40

【0011】

複数のディザ部材が、損失部材の複数の位置的な自由度に関して使用されて良く、ディザ部材のそれぞれが、監視された電圧によって検出可能な周波数ディザを生じるように為される。損失部材の複数の位置的な自由度を位置的に調節するために、周波数ディザによって導出された誤差信号がコントロール・システムによって使用される。レーザ共振器に関する損失部材のそれぞれに関する損失部材の同時または連続的な評価を可能にするために、および、それに対応して、レーザ共振器の損失プロファイルを制御するための各損失部材の調節を可能にするために、複数のディザ部材が複数の損失部材に関して使用されて良い。

【0012】

50

他の実施形態において、本発明は、光路に沿ったコヒーレントなビームを放射するゲイン媒体と、光路中に配置されてエンドミラーおよびゲイン媒体の裏面が外部共振器を画定するように為されるエンドミラーと、ゲイン媒体に動作可能なように接続されてゲイン媒体の両端の電圧を監視するように構成される電圧センサとを備える外部共振器レーザ装置である。ゲイン媒体の両端で監視される電圧は外部共振器に関する光損失を示し、外部共振器損失プロファイルを制御するために使用されて良い。外部レーザ共振器は、電圧センサと、外部共振器の光路中にある1つ以上の損失部材とに動作可能なように接続されたコントロール・システムを備えて良く、コントロール・システムは、ゲイン媒体の両端で監視された電圧に従って損失部材を調節するために構成される。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0013】

より詳細に図面を参照して、説明の便宜上、本発明は図1～図10に示される装置および方法で実施される。レーザ共振器の損失を評価するための、そして、レーザのレーザ・ゲイン領域または媒体の両端の電圧を監視することによってレーザ共振器の損失プロファイルを制御するためのシステムと方法が、本願明細書において開示される。本願明細書において開示される基礎概念から逸脱する事無く、装置が構成に関して、および部品の詳細に関して変更され得、また、方法がその詳細およびイベントの順番に関して変更され得ることは言うまでも無い。本発明は、外部共振器レーザを伴う使用に関して、主に開示される。しかし、本発明が半導体ゲイン媒体または領域を有する任意のレーザ装置またはシステムによって使用され得る事は、当業者にとって非常に明白である。また、本願明細書において用いられる用語は特定の実施形態を記載する目的のみのために使用されているのであって、制限することを目的としていない事が理解されるべきである。

20

【0014】

本発明は、ダイオードレーザ・ゲイン領域の両端の電圧が活性領域中のキャリヤー密度の関数であるという事実を利用する。ダイオード・レーザの両端の電圧Vが、式(1)によって表される。

【0015】

【数1】

$$V = IR_s + V_d \quad (1)$$

30

【0016】

ここで、Iはドライブ電流またはポンプ電流であり、R_sは直列抵抗であり、V_dはダイオード電圧である。定電流源を使用する場合、IR_sは一定の値を取り得る。ダイオード電圧V_dは、ダイオードレーザ・ゲイン媒体中のキャリヤー密度によって決定される擬フェルミ準位の差E_{f_c} - E_{f_v}と等しい。ダイオード・ゲイン媒体の伝導帯に関して、過剰電子密度Nが式(2)より与えられる。

【0017】

【数2】

$$N = 2 \int_{Ec}^{\infty} \rho(E - E_c) f_c(E) dE \quad (2)$$

40

【0018】

ここで、ρは状態密度であり、E_cは、励起媒体の伝導帯の最低のエネルギー準位であり、f_c(E)は擬フェルミ分布である。擬フェルミ分布は、式(3)によって表され得る。

【0019】

【数3】

$$f_c(E) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{E - E_{fc}}{K_B T}\right]} \quad (3)$$

【0020】

ここで、 E_{fc} は擬フェルミ準位であり、 K_B はボルツマン定数である。

【0021】

上記の式(2)および(3)によれば、より高い電子密度 N は、より高い擬フェルミ準位 E_{fc} に対応する。更に、ダイオード・レーザ閾値電流 I_{th} よりも高い電流の良好な近似値のために、電子密度 N は、閾値 N_{th} に固定、即ち「クランプ」される。同様に、価電子帯では、正孔 P (中立の条件は $P = N$) の密度が高い事は、価電子帯の中におけるより低い擬フェルミ準位 E_{fv} に対応する。10

【0022】

ダイオードレーザ・ゲイン領域が下に記述されるようなレーザ共振器の中で操作される時、閾値電子密度値 N_{th} は共振器損失の合計によって決定されるであろう。ダイオード電圧 V_d が式 $V_d = E_{fx} - E_{fv}$ に従うので、最小共振器損失が最小の電子密度閾値 N_{th} に、そしてその結果最小のダイオード電圧 V_d に対応するであろう。従って、ダイオードレーザ・ゲイン媒体の両端の電圧は、共振器に関する損失を反映する。20

【0023】

上記を念頭に置き、ゲイン領域の両端の電圧を監視するべく構成される外部共振器レーザ装置 10 を示す図 1 がここで参照される。外部共振器レーザ 10 は、ゲイン媒体 12 と、エンド、即ち外部反射部材 14 を備える。ゲイン媒体 12 は、従来のファブリーペロー型ダイオード・エミッタ・チップと、反射防止 (AR) コーティングが施された正面 16 および一部反射する裏面 18 とを備えても良い。外部共振器レーザ 10 は、出力面 18 およびエンドミラー 14 によって境界が定められる。外部共振器の光軸と同一直線上に整列される光路 22 を画定するために、ゲイン媒体 12 は、コヒーレントなビームを正面 16 から放射し、放射されたビームはレンズ 20 によってコリメートされる。もしくは、出力面 16 は「アングル面」を備えていて良い。外部共振器レーザ 10 の出力を光ファイバ (図示されない) へカップリングするために、従来の出力カプラ光学系 (図示されない) が裏面 18 に対応付けられる。30

【0024】

外部共振器内のエンドミラー 14 または他の損失部材 (後述) に起因する様々な損失または損失特性が外部共振器に対応付けられる。これらの外部共振器の損失は、ゲイン媒体 12 の両端の電圧を監視することにより検証または評価する事が出来る。この点において、第 1 電極 24 および第 2 電極 26 が隣接して設けられ、ゲイン媒体 12 に動作可能なよう接続される。第 1 電極 24 は、導体 28 によってドライブ電流源 (図示されない) に動作可能のように接続される。また、第 2 電極 26 は導体 30 によって接地される。電圧センサ 32 は導体 28 に動作可能のように接続され、外部共振器レーザ 10 の運転中にゲイン媒体 12 の両端の電圧を測定または監視するように構成される。もしくは、電圧センサ 32 は導体 24、26 または 30 のいずれかに接続されて良い。ゲイン媒体の両端の電圧を容易に良好な精度で検知することができるので、電圧センサ 32 はゲイン媒体に直接隣接している必要が無く、ゲイン媒体 12 から離間した場所において導体 28 または 30 と対応付けられても良い。40

【0025】

エンドミラー 14 から反射された光は、光路 22 に沿ってゲイン領域 12 へとフィードバックされる。共振器の光学軸に対する角度の誤設定に起因するエンドミラー 14 に関する損失は、ゲイン媒体 12 の両端の電圧における変化として電圧センサによって検知可能なゲイン媒体 12 に対する光学フィードバック変化させる。エンドミラー 14 または外部50

共振器に関する他の損失部材に起因する外部共振器に関する損失特性を修正、さもなければ調節するために、誤差信号がゲイン媒体12の両端で計測された電圧から導出される。外部共振器に関する他の損失部材は、グリッド・ジェネレータ部材およびチャネル・セレクタ部材を含んでいて良く、ゲイン媒体12とエンドミラー14間の光路22中に位置するグリッド・エタロン34およびチャネル・セレクタ36として図1の中でそれぞれ示される。通常、グリッド・エタロン34は、光路22中においてウェッジ・エタロン26の前方に位置し、平行な反射面38、40を備える。グリッド・エタロン34は干渉フィルタとして作用し、グリッド・エタロン34の屈折率と、面38、40間の間隔によって画定されるグリッド・エタロン34の光学厚さによって、例えばITU(国際電気通信連合)グリッドの様な選択された波長グリッドの中央部分の波長と一致する波長において、通信帯域内における複数の最小値が生じる。もしくは、他の波長グリッドが選択されても良い。従って、グリッド・エタロン34は、ITUグリッドもしくは他の選択されたグリッドのグリッド線間の間隔に対応する自由スペクトル領域(FSR)を有する。従って、グリッド・エタロン34は波長グリッドのグリッドラインのそれぞれを中心とする複数の通過帯域を供給するように作動する。グリッド・エタロン34は、波長グリッドの各チャネル間の外部共振器レーザの隣接するモードを抑制するようなフィネス(自由スペクトル領域÷半値全幅(FWHM))を有する。

【0026】

グリッド・エタロン34は固体、液体、または気体によって離間された平行平板であって良く、温度制御による熱膨張と収縮によって面38、40間の光学厚さの正確な寸法を画定することによって同調されて良い。もしくは、グリッド・エタロン34は、面38、40の間の光学厚さを変えるために傾斜させる事により同調されても良いし、あるいは電気光学的エタロン材料へ電界を印加する事により同調されても良い。様々な他のグリッドを生成する部材が当業者に公知であり、グリッド・エタロン34の代替として使用され得る。外部共振器レーザ10の運転中の熱の変動によって発生し得る選択されたグリッド中の変化を防ぐために、グリッド・エタロン34が温度制御されても良い。もしくは、グリッド・エタロン34は、ダイバーによって本願と共に出願され、参照によって本願に援用される「グリッド・ジェネレータの連続同調を伴った外部共振器レーザ」という名称の米国特許出願番号第09/900474号に記載されるように、レーザの運転に際して、能動的に同調されてもよい。

【0027】

レーザが光線を発している波長がグリッド・エタロン34の透過ピークとずれている時に、光損失が発生する。これらの損失特性は、ゲイン媒体12の両端で監視される電圧によって検知可能である。共振器長さを、即ち結果的にはレーザ光線を発する波長を、その波長がグリッド・エタロン34の送信スペクトルの極大値に対応するまで調節するために、電圧から導出された誤差信号を使用することが出来る。共振器長さは、ビーム22によって画定される光軸に沿ってエンドミラー14を平行移動させることによって、ゲイン領域12の光路長を加熱して熱的に膨張されることによって、または他の方法によって変更されても良い。誤差信号は、エンドミラー14が正確であると考えられる動作位置から微小量正または負の方向に平行移動またはディザリングされる際の電圧センサ32によって検知された電圧の測定により生成されて良い。逸脱した位置のうちの1つにおいて電圧センサ32がゲイン領域12の両端の微小電圧を検知した場合、エンドミラー14の見かけの動作位置は、対応する逸脱位置の方向へ平行移動させる事が出来る。もしくは、エンドミラーのディザリングが、単一のディザ周波数で連続的に行われ、ロックインアンプ(図示されない)が、ディザ周波数と同期しているセンサ32によって観察された電圧信号を検知する。この同期電圧信号が誤差信号を構成する。また、エンドミラー14の位置を変え、かつ誤差信号を0にするために、PIDコントローラ(図示されない)が使用されても良い。

【0028】

チャネル・セレクタ36は、面または表面42、44を備えるV字形のエタロンとして

10

20

30

40

50

示される。ビームが表面に当る領域よりも広い範囲に面42および44を延長させる事により、かつレーザビームの全横断面にわたって面42と44との間の厚さの変化が無視できるか許容範囲である程度にテーパ角が小さく、かつビームと直交するフィルタの巨視的な動作によって面42と44との間の微視的な変化がもたらされる程度にはテーパ角が大きくなれるように2面間のスペーサのテーパ角を決定することによって、表面42と44の間の間隔が、運転時の波長以下の量でレーザ軸に沿って精度良く変更されて良い。表面42と44との間の間隔は、気体で充填されていてもよいし、液体で充填されていても良いし、固体で充填されていても良い。固体エタロンを熱的に膨張させる事により、または、気体または液体エタロンの間隔を熱的、圧電的またはマイクロメカニカルに膨張させる事により、または、気体、液体または固体のエタロンを傾斜させる事により、または、気体エタロンの圧力を変える事により、または、スペーサに電気光学材料を用いて電界を印加する事によって屈折率を変化させる事により、または、スペーサ層に非線形光学材料を使用して第2光学ビームによって光路長を変化させる事により、または波長を同調させるのに好適な他の任意のシステムまたは方法によって、表面42と44の間の間隔を変える事が出来る。

【0029】

図1に示されるウェッジ・エタロン・チャネル・セレクタ36は、外部共振器レーザに関する本発明において使用され得る同調可能部材の一例に過ぎない。様々な他の種類のチャネル・セレクタが本発明と共に使用されても良い。チャネル選択の際にエアギャップ・ウェッジ・エタロンを使用する例が米国特許第6108355号明細書に記載されており、該明細書中において、「ウェッジ」とは隣接した基板によって画定されたテーパ状のエアギャップである。グレーチングの角度調整によって同調される枢動的に調整可能なグレーチング装置をチャネル・セレクタとして使用する事、また、電圧を選択的に印加する事によって同調される電気光学的な同調チャネル・セレクタを外部共振器レーザに使用する事が、2001年3月21日に出願された発明者アンドリュー・ダイバーによる米国特許出願番号第09/814646号に記載されている。並進的に同調された傾斜した薄膜干渉フィルタをチャネル・セレクタとして使用する事が、米国特許出願番号第09/814646号、およびホプキンス等によって本願と共に出願された「傾斜した薄膜ウェッジ干渉フィルタ、およびレーザ同調に対して使用する際の方法」という名称の米国特許出願番号第09/990412号に記載される。前述の開示は、参照によって本願に援用される。幾つかの例における外部共振器レーザ10の様々な光学要素間の相対的なサイズ、形状、および距離は、明瞭性を保つために誇張して示されている場合があり、必ずしも等縮尺であるとは限らない。外部共振器レーザ10は、焦点を合わせる要素、およびコリメーション要素と言った追加の損失部材(図示されず)を備えても良く、外部共振器レーザ10の様々な要素に関連した偽フィードバックを除去するように構成される偏光光学系を備えていても良い。グリッド・ジェネレータ34およびチャネル・セレクタ36の位置は、図1に示される位置と異なっても良い。

【0030】

チャネル・セレクタ36は、グリッド・エタロン34の通過帯域よりも実質的に広く、その一周期が、グリッド・エタロン34によって画定される最短波長のチャネルと最長波長のチャネルの間の波長との差と実質的に対応するかそれよりも広い複数の通過帯域を画定する。換言すれば、チャネル・セレクタ36の自由スペクトル領域は、グリッド・エタロン34によって画定された波長の全ての波長領域よりも広い。チャネル・セレクタ36は、特定の選択されたチャネルに隣接するチャネルにおけるレーザ光線の発光を抑制するようなフィネスを有する。

【0031】

チャネル・セレクタ36は、チャネル・セレクタ36の面42、44間の光学厚さを変える事により、複数の通信チャネルの中から1つを選択するために使用される。これは、x軸に沿ってチャネル・セレクタ36を変位させることにより達成される。x軸は、チャネル・セレクタ36のテーパの方向と平行であり、光路22および外部共振器レーザ10

10

20

30

40

50

の光軸に対して垂直である。チャネル・セレクタ36によって画定される通過帯域のそれによってチャネルが選択可能となり、また、ウェッジが光路22中に押し込まれる方向に変位するにつれて、光路22に沿って移動するビームはチャネル・セレクタ36のより厚い部分を貫通することになり、これによって、より長い波長チャネルにおける、相対する面42、44間の建設的干渉が得られる。チャネル・セレクタ36が光路22から引き出される方向に変位するにつれて、ビームはチャネル・セレクタ36より薄い部分を貫通し、より短い波長チャネルに対応する光路22用の通過帯域を露出する。上述したように、チャネル・セレクタ36の自由スペクトル領域は、グリッド・エタロン34の完全な波長の範囲に対応している。その結果、全ての波長グリッドの領域において、通信帯域内の単一の損失最小が同調される事が可能である。グリッド・エタロン34およびチャネル・セレクタ36からゲイン媒体12への統合化されたフィードバックによって、選択されたチャネルの中心波長においてレーザ光線を発することを可能にする。全同調レンジに渡って、チャネル・セレクタ36の自由スペクトル領域はグリッド・エタロン34の自由スペクトル領域より広い。
10

【0032】

チャネル・セレクタ36は、選択されたチャンネルに応じてチャネル・セレクタ36を調整可能に位置決めするように構成・構築された駆動部材46を含む同調装置により位置を変えられることによって、または他の方法でチャネル・セレクタを36同調する事によって同調される。駆動部材46は、例えばチャネル・セレクタ36の精密並進運動に好適なハードウェアと共にステッパーモータを備えても良い。もしくは、駆動部材46は、直流サーボモーター、ソレノイド、ボイスコイル・アクチュエーター、圧電アクチュエーター、超音波ドライバ、形状記憶デバイス、または同様の往復型アクチュエーターのように、様々なタイプのアクチュエーターを含んでも良い。アクチュエーターの種類は上記されてもものに限定されない。ウェッジ・エタロン以外の種類のチャネル・セレクタが本発明と共に使用される場合、波長同調器駆動部材46はチャネル・セレクタを同調するために構成されるであろう。駆動部材46によるウェッジ・エタロン36の正確な位置決めを保証するために、直線エンコーダ50が、ウェッジ・エタロン26および波長同調器駆動部材46に関して使用されても良い。駆動部材46によるウェッジ・エタロン36の正確な位置決めを保証するために、あるいは関連する駆動部材による他の実施形態におけるチャネル・セレクタの正確な位置決めを保証するために、運転時の波長を監視する低解像度のスペクトロメータが用いられても良い。光路22に沿ったビームがチャネル・セレクタ36と交差する位置において、光路22に沿ったビームの波長がチャネル・セレクタ36の最大の透過波長に対応しない時、チャネル・セレクタ36に関する光損失が発生するであろう。グリッド・エタロン34の透過極大にあらかじめ調節されているとすれば、波長が正確であり、かつチャネル・セレクタに誤差がある、と仮定される。チャネル・セレクタ36の最大の透過波長は、反射表面42と44の間の間隔を変更することにより変更することが出来る。この間隔は、チャネル・セレクタ36の長さに方向に沿って異なる間隔を有する表面42および44を備えるチャネル・セレクタ36を使用することにより、およびビーム22がチャネル・セレクタ36を通過する位置において表面42、44の間の正確な間隔が得られるまで駆動部材46によってチャネル・セレクタ36を平行移動させることによって変更することが出来る。
20
30
40

【0033】

チャネル・セレクタ36に周波数変調を導入するために公称動作点のいずれかの側へチャネル・セレクタ36の位置をディザリングする事により、および、誤差信号を生成するためにゲイン領域の両端の電圧変調を計測する事によって、チャネル・セレクタ36を平行移動させる方法を決定するのに使用可能な信号が導出される。公称動作点の一方の側への電圧が公称動作点より低い場合、公称動作点は改善される点の方向にリセットされる。もしくは、チャネル・セレクタ36は高調波でディザリングされ、ACレーザ電圧信号から導出される誤差信号が、ディザ周波数において観察される。他の設計のチャネル・セレクタ36が、チャネル36について記述したものと類似する技法を用いて反射表面の有効
50

な間隔をディザリングする事によって調節されて良い。チャネル・セレクタ36あるいは他の光学コンポーネントに周波数変調を導入するディザ部材の使用が、後に詳述される。共振器損失部材に周波数変調を導入するディザ部材の使用が、後に詳述される。

【0034】

駆動部材46は、駆動部材46によるチャネル・セレクタ36の位置調整を制御するコントローラ48に動作可能のように接続される。前述されたように、チャネル・セレクタ36の制御は、チャネル・セレクタ36の周波数変調およびゲイン媒体12の両端で監視される電圧より導出される誤差信号によって行なわれて良い。もしくは、コントローラ48は、選択可能なチャネル波長に対応するチャネル・セレクタ36のために位置の情報が格納されたルックアップテーブルを更に使用しても良い。コントローラ48は駆動要素46の内部に位置しても良いし、あるいは外部に位置して、チャネル・セレクタ36、エンドミラー14、および(または)他の部品あるいは損失部材の外部共振器10内における位置決めおよびサーボ機能のために共有されても良い。駆動部材46によるチャネル・セレクタ36の正確な位置調整を保証するために、直線エンコーダ50がチャネル・セレクタ36および駆動部材46に関して使用されてもよい。10

【0035】

チャネル・セレクタ36は、光学上検知可能で、チャネル・セレクタ36が最長または最短のチャネル波長を超えて位置決めされた際にチャネル・セレクタ36の位置を確認するために用いられる不透明領域52、54を、チャネル・セレクタ36の両端に備えているても良い。不透明領域52、54は、ウェッジ・エタロンの位置決めにおいて使用可能な追加のエンコーダ・メカニズムを付加的に提供する。不透明領域52、54が光路22に進入するようにウェッジ36が位置決めされる時、不透明領域52、54は、光路に沿ってビームを遮断または減衰する。以下詳細される通り、この光の減衰は検知可能である。これらの不透明領域は「ホーム」信号として、および「行き過ぎ」信号として使用されても良い。ホーム信号は、モータ位置の基準点となり得る座標系を初期化するために使用することが出来る。その後、ホームから離れる駆動列の位置が、ステッパーモータが取ったステップ数あるいはマイクロステップを数え、1ステップで得られる角度および親ねじのピッチとの情報を組み合わせることによって決定されて良い。もしくは、エンコーダが駆動列に取り付けられても良い。基準点を光学要素に近接して提供し、この基準点を周期的に探索する事によって、親ねじの熱膨張、またはドライブ・ナットの機械的摩耗を補償するためにホーム信号が更に使用されても良い。20

【0036】

グリッド・エタロン34、チャネル・セレクタ36、およびエンドミラー14と裏面18によって画定された外部共振器の通過帯域の関係が、図2のグラフによって例証される。図2は、外部共振器通過帯域PB1、グリッド・エタロン通過帯域PB2およびウェッジ・エタロン通過帯域PB3を示す。相対ゲインが縦軸に、波長が横軸に示される。図から明らかのように、チャネル・セレクタ36の自由スペクトル領域(FSR_{channel}₁_{se1})は、グリッド・エタロン34の自由スペクトル領域(FSR_{grid}_{gen})より大きく、グリッド・エタロン34の自由スペクトル領域(FSR_{grid}_{gen})は、外部共振器の自由スペクトル領域(FSR_{cavity})より大きい。外部共振器通過帯域PB1のピークは、グリッド・エタロン34の波長グリッドによって画定された通過帯域PB2の中心波長と周期的に一致する。全ての波長グリッドの通過帯域PB2に渡って広がるチャネル・セレクタ36の通過帯域PB3のピークは1つである。図2に示される特定の例において、波長グリッドは、0.5nm(62GHz)間隔で離間し、最短波長チャネルが1532nm、最長波長チャネルが1563.5nmであって、64個のチャネルに渡って延長している。40

【0037】

グリッド・エタロン34およびチャネル・セレクタ36のフィネスは、隣接しているモードまたはチャネルの減衰を決定する。上述されたように、フィネスは、自由スペクトル領域を半値全幅で割った値と等しい。即ち、フィネス = FSR / FWHMである。グリッド

1020304050

ド・エタロン通過帯域 P B 2 の半値全幅が図 2 B に示され、チャネル・セレクタ通過帯域 P B 3 の半値全幅が図 2 C に示される。外部共振器内におけるグリッド・エタロン 3 4 およびチャネル・セレクタ 3 6 の位置の調整によって、サイドモード抑圧比が向上する。

【 0 0 3 8 】

1549.5 nm およびそれに隣接する 1550 nm に中心が合わせられたチャネル間におけるチャネル・セレクタ 3 6 の通過帯域 P B 3 の同調の例が、図 3 のグラフによって示される。また、グリッド・エタロン 3 4 によって生成されたチャネルの選択と、隣接するチャネルまたはモードの減衰も示されている。図 2 に示される外部共振器の通過帯域 P B 1 は、明瞭性を保つために図 3 においては省略される。グリッド・エタロン 3 4 は、グリッド・チャネル間隔に対応する外部共振器の周期的な縦モードを選択する一方で、隣接するモードは拒絶する。チャネル・セレクタ 3 6 は、該波長グリッド中の特定のチャネルを選択し、他の全てのチャネルを拒絶する。選択されたチャネルあるいはレーザ光線のモードは、チャネル間隔のプラスマイナス約半分の範囲のフィルタ・オフセットにより、1 つの特定のチャネルに画定される。チャネルのオフセットがより大きい場合、レーザ光線のモードは隣接するチャネルへとジャンプする。

【 0 0 3 9 】

図 3 A において、チャネル・セレクタ通過帯域 P B 3 のピークは、1549.5 nm のグリッド・チャネルに合わせられている。1549.5 nm における通過帯域 P B 2 に関する相対ゲインは高いが、その一方で隣接している 1549.0 nm および 1550.0 nm における通過帯域 P B 2 に関する相対ゲインレベルは、選択された 1549.5 nm のチャネルに比べて抑圧されている。1550.5 nm および 1548.5 nm における通過帯域 P B 2 に関するゲインは一層抑圧されている。1 点鎖線は、チャネル・セレクタ 3 6 によって抑圧されていない状態の通過帯域 P B 2 の相対ゲインを示す。

【 0 0 4 0 】

図 3 B はチャネル・セレクタ通過帯域 P B 3 が、チャネル切り替えの最中に 1549.5 nm および 1550.0 nm のチャネルの間に位置する状態を示す。1549.5 nm および 1550.0 nm における通過帯域 P B 2 に関する相対ゲインは両方とも高く、どちらも抑制されていない。1549.0 nm および 1550.5 nm における通過帯域 P B 2 に関する相対ゲインのレベルは、1549.5 nm および 1550.0 nm のチャネルに比べれば抑圧されている。1 点鎖線は、チャネル・セレクタ 3 6 によって抑圧されていない状態の通過帯域 P B 2 の相対ゲインを示す。

【 0 0 4 1 】

図 3 C は、ピークが 1550.0 nm のグリッド・チャネルに合わせられているチャネル・セレクタ通過帯域 P B 3 を示し、1550.0 nm における通過帯域 P B 2 に関する相対ゲインは高いが、その一方で隣接している 1549.5 nm および 1550.5 nm における通過帯域 P B 2 に関する相対ゲインレベルは、選択された 1520.0 nm のチャネルに比べて抑圧されており、1551.0 nm および 1549.0 nm における通過帯域 P B 2 に関するゲインは更に抑圧されている。再び、1 点鎖線は、チャネル・セレクタ 3 6 によって抑圧されていない状態の通過帯域 P B 2 の相対ゲインを示す。

【 0 0 4 2 】

図 2 および図 3 に示されるように、チャネル・セレクタ 3 6 、エンドミラー 1 4 および（または）グリッド・ジェネレータ 3 4 の位置調整あるいは同調が最適になされない場合、通過帯域 P B 1 、P B 2 および P B 3 のミスマライメントが発生し、外部共振器レーザ 1 0 からの光出力強度の損失を生じさせ、および外部共振器レーザ 1 0 のサイドモード抑制比率の減少を生じさせるであろう。電圧センサ 3 2 がゲイン媒体 1 2 の両端の電圧を監視することによって、そのような外部共振器の損失特性がレーザ運転中に調査または評価されることが出来る。その後、エンドミラー 1 4 、チャネル・セレクタ 3 6 、および（または）グリッド・エタロン 3 4 を適切に再配置または調整する事によって、通過帯域 P B 1 、P B 2 および P B 3 が相互に最適にアライメントされるように、監視される電圧から導出された誤差信号が、外部共振器の運転中に損失プロファイルを調節する際に、または

10

20

30

40

50

サーボ機構によって制御する際に使用される事が出来、これによって、正確に波長を同調し、安定性を保たせることが出来る。

【0043】

図4Aは、外部共振器レーザ装置56の他の実施形態を例証する。類似の部品を表すのに、類似の参照番号が使用される。図4Aの実施形態において、電気光学的に励起された同調素子58が、光路22中においてエンドミラー14の前方に位置する。同調素子58は、通信インタフェース62を経由してコントローラ60に動作可能なように接続される。コントローラ60は、インタフェース64を経由して電圧センサ32に動作可能なように接続される。熱電コントローラ66はグリッド・ジェネレータ34に接続され、コントローラ60は通信インタフェース68を経由して熱電コントローラ66に動作可能なように接続される。また、コントローラ60は、導体28を経由してゲイン媒体に動作可能なように接続され、導体28は通信インタフェースとしも機能する。コントローラ60は通信インタフェース70を経由して駆動部材または装置46に動作可能なように接続される。駆動部材46は、チャネル・セレクタ36に動作可能なように接続される。

10

【0044】

図4Aに示される電気光学同調素子58は、周波数のディザによる信号変調を提供する。光路22中に素子58が存在することによって、信号変調が外部共振器レーザ56の光路長へ導入されても良い。同調素子は、ニオブ酸リチウムあるいは電気光学液晶材料のような、屈折率が電圧によって調整可能な電気光学材料のエタロンを含んで良い。他の実施形態において、エンドミラー14に圧電またはマイクロメカニカル同調素子を取り付けても良く、エンドミラー14の物理的な変位によって、素子58の移相と同じ機能を果たす。信号変調は、例えば、約20KHzの周波数変調を含んで良い。同調素子の電気光学材料の両端の電圧調整によって、同調素子58の有効な光学厚さが変更され、従って、外部共振器レーザ56の外部共振器を横断する全光学経路長1（ダイオード面18とエンドミラー14の間の距離）も変更される。従って、電気光学同調素子58は、（i）外部共振器に対する周波数変調信号またはディザ、および（ii）同調素子58の両端に印加された電圧によって外部共振器光路長を同調または調節するメカニズム、の双方を提供する。もしくは、電気光学同調素子58は音響光学装置、機械的装置あるいは、検知可能な周波数のディザあるいは変調信号を外部共振器の出力に導入することが出来る他の装置を備えても良い。

20

【0045】

素子58によって導入された周波数のディザにより光路長1を変調することによって、外部共振器からの光学フィードバックにより生じ、ゲイン媒体12の両端で監視される電圧によって検出可能な外部共振器レーザ56の出力強度の強度変化が生じる。レーザ共振器モードが、グリッド・ジェネレータ34およびチャネル・セレクタ36によって画定された通過帯域の中心波長と一致して行くにつれて、これらの強度変化の振幅とフェーズエラーが減少して行くであろう。換言すれば、通過帯域PB1、PB2およびPB3が図2A～図2Cに示されるように最適にアライメントされていれば、変調信号における強度変化およびフェーズエラーは最小、または見かけ上ゼロである。誤差信号の判断に関して変調信号の強度変化およびフェーズエラーを使用することは、図7を参照して後に詳述される。

30

【0046】

外部共振器レーザ56の運転中に、電圧センサ32からの電圧信号は、インタフェース64を経由してコントローラ60に伝達される。コントローラ60は周波数ディザによって導入された変調から誤差信号を導出し、電気光学同調素子58全体の屈折率および有効光路長さを変化させる事によって光路長さ1を同調または調節する電気光学同調素子にインタフェース62経由で補償信号を伝達する。

40

【0047】

更に、レーザ56の運転中に、コントローラ60は、インタフェース28経由で伝達された信号に従ってゲイン媒体12への駆動電流を制御し、また、インタフェース70経由

50

で伝達された信号に従って駆動部材 4 6 によるチャネル・セレクタ 3 6 の位置決めを制御する。更に、コントローラ 6 0 は、熱電コントローラ 6 6 、およびインタフェース 6 8 経由で伝達された信号によってグリッド・エタロン 3 4 の温度を制御しても良い。上記の運転を実行中のコントローラ 6 0 の運転は、図 5 A を参照して後に後述される。

【 0 0 4 8 】

図 4 B は、他の実施形態における外部共振器レーザ 7 2 を示す。類似の参考番号は類似の部品を示す。外部共振器レーザ 7 2 において、エンドミラー 1 4 は同調アーム 7 4 に接続され、同調アーム 7 4 は、コントローラ 7 6 からの命令に従ってエンドミラーを位置的に調節するために使用される。同調アーム 7 4 は、アルミニウム、または他の金属か合金のような高い熱膨張率を有する材料で作られている。コントローラ 7 6 は、通信インタフェース 8 0 を経由して熱電コントローラ 7 8 に動作可能なように接続される。熱電コントローラ 7 8 は同調アームに接続され、同調アーム 7 4 の温度を調節するために構成される。エンドミラー 1 4 の位置、およびエンドミラーとダイオードの面 1 8 によって画定される外部共振器の光路 1 の長さを制御するために、コントローラ 7 6 からの信号による同調アーム 7 4 の熱制御（加熱または冷却）が、本実施形態において使用される。

【 0 0 4 9 】

外部共振器レーザ中のエンドミラーおよび他の光学コンポーネントを位置的に調節するための熱制御された同調素子を使用する事が、2001年3月21日に出願された発明者アンドリュー・ダイバーによる米国特許出願番号第 09 / 814646 号、および本願と共に出願された発明者ライス等による「外部共振器の能動的温度同調を伴うレーザ装置」という名称の米国特許出願番号第 09 / 900443 号に記載されており、これらの開示は、参照によって本願に援用される。エンドミラー 1 4 は、ゲイン媒体 1 2 の両端の測定電圧より導出された誤差信号に従って、様々な他の同調メカニズムによって同調または調節されても良い。例えば、エンドミラー 1 4 は、コントローラ 7 6 からの命令に従って、位相補償器によって同調されても良いし、ステッパーモータの運転によって機械的に位置決めされても良い。

【 0 0 5 0 】

外部共振器レーザ 7 2 の運転に際し、電気光学同調素子 5 8 は上記された方法で外部共振器の光路長 1 に周波数ディザまたは変調を導入する。周波数変調は、電圧センサ 3 2 によって監視されるゲイン媒体 1 2 の両端の電圧によって検知できる。また、周波数変調は、上述されたように、グリッド・ジェネレータ 3 4 およびチャネル・セレクタ 3 6 によって画定される通過帯域の中心波長に対するレーザ共振器モードのアラインメントを示す強度変動およびフェーズエラーを含んでいる。コントローラ 7 6 は周波数ディザによって導入された変調から誤差信号を導出し、インタフェース 8 0 経由で熱電コントローラ 7 8 に補償信号を伝達し、熱電コントローラ 7 8 は、誤差信号をヌル化するために、エンドミラー 1 4 を位置決めして外部共振器レーザの光路長さ 1 を調整するために、同調アーム 7 4 を加熱または冷却する。コントローラ 7 6 は、インタフェース 2 8 を経由してゲイン媒体 1 2 への駆動電流を制御し、インタフェース 7 0 を経由して駆動部材 4 6 によるチャネル・セレクタ 3 6 の位置決めを制御し、熱電コントローラとインタフェース 6 8 を経由して伝達される信号によってグリッド・エタロン 3 4 の温度を更に制御する。上記の運転を実行中のコントローラ 7 6 の運転は、図 5 B を参照して後に詳述される。

【 0 0 5 1 】

図 4 C を参照して、他の実施形態における外部共振器レーザ装置 8 2 が示される。類似の参考番号は類似の部品を示す。装置 8 2 において、エンドミラー 1 4 は、同調素子 5 8 の電気光学材料上における反射コーティングとして直接成形される。従って、エンドミラー 1 4 および同調素子 5 8 は単一の部品へと統合される。上述されるように、電気光学同調素子 5 8 は、外部共振器の光路長 1 に周波数ディザまたは変調を導入し、これはゲイン媒体 1 2 の両端の電圧によって検知され、誤差信号を導出するために使用される。対応する補償信号が、コントローラ 7 6 によってインタフェース 8 0 経由で熱電コントローラ 7 8 に伝達され、熱電コントローラ 7 8 は、上述されたように、誤差信号をヌル化するべく

10

20

30

40

50

、エンドミラー 14 を位置決めして外部共振器レーザの光路長さ 1 を調整するために同調アーム 74 を要求に応じて加熱または冷却する。他の点において、外部共振器レーザの運転は、外部共振器レーザ 72 に関して上述されたものと実質的に同一である。装置 82 において、同調アーム 74 および熱電コントローラ 78 は省略されても良く、光路長 1 の調整は、図 4 A の外部共振器レーザ装置 56 に関して上述されたように、電気光学同調素子の有効光学厚さの電圧を調整することによって直接実行されても良い。

【0052】

図 5 は、図 4 に示されたコントローラ 60、76 の機能ブロック図である。類似の参照番号は類似の部品を示す。コントローラ 60、76 のそれぞれは、同調回路 84 と、導体 28 を経由してゲイン媒体 12 に動作可能なように接続される電流 / 電圧ドライバ 86 と、インターフェース 68 を経由して熱電コントローラ 66 に動作可能なように接続されるグリッド・コントローラ 88 と、インターフェース 70 を経由して駆動部材 46 に動作可能なように接続されるチャネル制御装置 90 とを備える。電流電圧ドライバ 86 は、インターフェース 28 経由でゲイン媒体 12 に伝達された電力を制御する。グリッド・コントローラ 88 は、要求に応じてグリッド・エタロン 34 を加熱または冷却するための熱電コントローラ 66 を用いるグリッド・エタロン 34 に対する熱制御によって、グリッド・エタロン 34 の参照一貫性を維持する。チャネル・コントローラ 90 は、グリッド・エタロン 34 によって画定されたグリッド中の所望の透過帯域を選択するためのチャネル・セレクタ 36 を位置決めまたは調整するために、駆動部材 46 を制御する。同調回路 84 は、信号プロセッサ 94、オプティカルローパスフィルター 96、誤差補正器 98、経路長アジャスター 100、および変調信号発生器 102 を更に備える。
10

【0053】

変調信号発生器 102 は、選択された負荷部材（例えば同調素子 58）に周波数のディザまたは変調信号を供給し、これに対応して、レーザの外部共振器の光路 1 の変調が生じる。変調周波数と振幅は、例えば、有効結合効率を増加させるために選択されて良い。電圧センサ 32 からの電圧信号は、通信線 64 を経由して同調回路 84 に伝達され、信号処理回路 94 に送られる。信号処理回路 94 は、ディザ部材 102 から基準変調信号を更に受信する。信号処理回路 94 は、外部共振器の通過帯域 PB1（図 2 および図 3）、グリッド・エタロン 34 の通過帯域 PB2 およびチャネル・セレクタ 36 の通過帯域 PB3 のアライメントを確定する。
20

【0054】

一実施形態において、ディザ部材 102 で導入された変調信号と、電圧センサ 32 によって検知された電圧強度の位相関係を決定するために、信号処理は位相同期検出を使用して実行される。誤差信号は信号処理 94 によって生成され、ディザ変調信号と検出された電圧強度との間の相対的な位相を示す。誤差信号はローパスフィルタ 96 を経由して誤差補正器 98 に導かれる。信号処理 94 は本実施形態中のフェーズロックループで実施されても良い。
30

【0055】

他の実施形態において、信号処理 94 は、強度変化がいつ最小になるかを決定するために、電圧センサ 32 からの電圧信号の強度変化および周波数を監視しても良い。通過帯域 PB1、PB2 および PB3 のアライメントが合った時、このような強度変化は最小になり、強度信号の周波数が増加する。周波数および強度変化を示す誤差信号は電圧センサ 32 の出力から導出され、誤差補正器 98 に伝達される。もしくは、信号処理 94 は、ディザ部材 102 によって提供される変調周波数の選択された高調波に反応しても良い。
40

【0056】

誤差補正器 98 は、変調信号と強度信号の関係を最適化するために、または、変調信号と強度信号との関係を選択されたオフセットまたは値にするために、経路長アジャスター 100 によって外部共振器の光路長 1 を調節するために使用される誤差修正または補償信号を、信号処理 94 によって供給される誤差信号から生成する。外部共振器モード即ち通過帯域 PB1 と、グリッド・ジェネレータ 34 およびチャネル・セレクタ 36 によって生成
50

された P B 2 および P B 3 とのアライメントが取れている場合、図 6 に関して後に詳述されるように、コヒーレントなビームの光路 2 2 における変調周波数（またはその奇数倍の倍数）の強度変化は実質的に最小化される。同時に、電圧信号の強度は変調周波数の 2 倍の周波数で変動する。これらの検知可能な効果のいずれか、または双方が、エンドミラー 1 4、グリッド・ジェネレータ 3 4 およびチャネル・セレクタ 3 6 の位置または相互関係に関する損失特性に関する外部共振器損失を評価し、かつ、変調信号と強度信号が最適化されるように共振器損失の特性の調整に使用可能な誤差信号を生成するのに使用可能である。

【 0 0 5 7 】

図 5 A は、図 4 A の外部共振器レーザ 5 6 用のコントロール・システムを例証する。外部共振器レーザ 5 6 において、光路長 1 は、電気光学素子 5 8 の有効光学厚さの電圧調整によって調節される。経路長アジャスタ 1 0 0 は、外部共振器通過帯域 P B 1 の中心を、通過帯域 P B 2 および P B 3 の中心に合わせるのに必要である「 D C 」オフセットを供給する。「 D C 」オフセットは、適切な「 A C 」補償信号を提供するためのディザ部材 1 0 2 からの変調信号と結合され、「 A C 」補償信号はインターフェース 6 2 を経由して電気光学素子 5 8 に伝達される。10

【 0 0 5 8 】

図 5 B は、外部共振器レーザ 7 2 用のコントロール・システムを示す。図 4 B に示され、また上述されたように、この例において、光路長 1 の変調は電気光学素子 5 8 を使用して、および光路長 1 の調整はアーム 7 4 を補償することによりエンドミラー 1 4 の熱による位置決めによって実行される。この場合、経路長アジャスタは補償信号をインターフェース 8 0 を経由して熱電コントローラ 7 8 に伝達し、これによって、熱電コントローラ 7 8 は、外部共振器の損失プロファイルを最適化するべく、エンドミラー 1 4 を再度位置決めするために補償アーム 7 4 を加熱または冷却する。図 3 の外部共振器レーザシステム 8 2 が図 5 のコントロール・システムのいずれかを利用して良い。20

【 0 0 5 9 】

ここで図 6 を参照して、外部共振器へ導入されたディザ変調信号とゲイン媒体 1 2 の両端において検知される電圧変調との関係が、波長 - 相対強度のグラフとして示される。図 6 は、グリッド・エタロン通過帯域 P B 2 、および外部共振器レーザ・モード 1 0 6 A 、 1 0 6 B および 1 0 6 C のそれぞれに対応する周波数またはディザ変調信号 1 0 4 A 、 1 0 4 B 、および 1 0 4 C を示す。周波数変調信号 1 0 4 A ~ 1 0 4 C が、上述された様態の電気光学素子 5 8 の電圧変調によってレーザの外部共振器に導入される。図 6 に示されるように、レーザ・モード 1 0 6 A は、通過帯域 P B 2 の中心に対して、通過帯域 P B 2 の短波長側に偏っており、中心から外れている。また、レーザ・モード 1 0 6 B は通過帯域 P B 2 の中心波長に対応して位置している。また、レーザ・モード 1 0 6 C は通過帯域 P B 2 に対して長波長側に位置する。レーザ・モード波長 1 0 6 B は波長固定位置に対応し、外部共振器の最適の損失プロファイルを示す。レーザ・モード 1 0 6 A および 1 0 6 C は通過帯域 P B 2 に関して中心から外れており、外部共振器の損失プロファイルは最適とはならず、前述されたように、電気光学素子 5 8 の有効光学厚さを調整するか、エンドミラー 1 4 を位置決めするかのいずれかによって、外部共振器長さ 1 を調整する必要がある。30

【 0 0 6 0 】

ディザ信号 1 0 4 A 、 1 0 4 B および 1 0 4 C に対する、電圧センサ 3 2 によって検出されたゲイン媒体 1 2 両端の電圧のそれぞれが、図 6 の右端にある電圧変調信号 1 0 8 A 、 1 0 8 B および 1 0 8 C によって示され、電圧変調信号 1 0 8 A 、 1 0 8 B および 1 0 8 C はレーザ・モード波長 1 0 6 A 、 1 0 6 B および 1 0 6 C にそれぞれ対応する。レーザ・モード 1 0 6 A の位置が通過帯域 P B 2 の中心波長より短い波長に対応しているので、電圧信号 1 0 8 A の位相はディザ変調信号 1 0 4 A と同相になる。レーザ・モード 1 0 6 C の位置が通過帯域 P B 2 の中心波長より長い波長に対応しているので、電圧信号 1 0 8 C の位相はディザ変調信号 1 0 4 C の位相に対してずれている。4050

【0061】

通過帯域PB2の傾斜に対応する各レーザ・モード波長の位置は、対応する電圧信号の振幅に影響する。従って、通過帯域PB2の比較的険しい斜面上のレーザ・モード106Aの波長に対応する電圧信号108Aの振幅は比較的大きいが、通過帯域PB2の比較的傾斜の緩い斜面上のレーザ・モード106Cの波長に対応する電圧信号108Cの振幅は比較的小さい。ディザ変調信号104Bの周期が通過帯域PB2の中心波長に関して対称的に生じるので、中心が合わせられたレーザ・モード106Bに対応する電圧信号108Bの変調振幅は最小である。この例において、電圧信号108Bの支配的な強度の周波数は、ディザ変調信号104Bの周波数の2倍である。

【0062】

10

図6より、ゲイン媒体12の両端の電圧として検知された変調の振幅がレーザの外部共振器に必要な補正あるいは調整の大きさを示し、電圧信号変調の位相が調整の方向を示す、と言う事が理解されよう。ディザ変調信号104A～104Cの振幅は、波長が固定される際に電圧信号変調の強度の変動が外部共振器レーザの特定の使用に対して許容レベルに保持されるように選択される。ディザ変調の周波数は、コヒーレンス制御を提供出来る程度には充分高いが、送信の際に外部共振器レーザによって提供される搬送波信号に変調された情報に対する干渉を防止する程度には充分低くなるように選定される。

【0063】

本発明は、外部共振器レーザ中の複数の損失部材に関する損失特性を評価し調節するために使用されてもよい。図7は外部共振器レーザ装置110を示す。類似の参考番号は類似の部品を示す。装置110において、別々の周波数変調またはディザ部材がいくつかの損失部材のそれぞれと共に用いられる。従って、ディザ部材112がグリッド・エタロン34に接続され、ディザ部材114がチャネル・セレクタ36に接続され、そして、ディザ部材116がエンドミラー14に接続される。例えば、ディザ部材112、114、116のそれぞれは、グリッド・エタロン34のチルト、チャネル・セレクタ36の交差位置およびエンドミラー14の軸の位置へ周波数変調信号を導入し得る従来の機械式、圧電式、あるいは電気光学式、音響光学式のオシレータ、あるいは同様のオシレータ装置を備えていて良い。ディザ部材112、114および116のそれぞれは、通信インターフェース117、118および120によってコントローラ76に動作可能なように接続される。外部共振器レーザ110内の、または外部共振器レーザ装置110に関する追加の損失部材(図示されない)に関して、追加のディザ部材が使用されても良い。

20

【0064】

ディザ部材116によってエンドミラー14へ変調信号を導入する事によって、上記された図4における電気光学素子58によって提供されるのと同じ方法で、エンドミラーおよび出力面18によって画定された外部共振器の光路長1を直接変調する。上述されるように、これによって、電圧センサ32によって検知し得、熱電コントローラ78による補償アーム74の加熱または冷却によるエンドミラー14の位置決めによって外部共振器の光路長1を調節するために用いられ得る、ゲイン媒体12の両端の電圧が変調される。

30

【0065】

周波数ディザ112によるグリッド・エタロン34への変調信号の導入によって、グリッド・エタロン34の面38および40間の光路長 d_{GE} が変調される。グリッド・エタロン34を変調する時、エンドミラー14は、後述されるような場合を除いて、部材116によって変調されない。グリッド・エタロン34内の光路長の変調により、グリッド・エタロン34の送信通過帯域が変調される。グリッド・エタロン34のFSRはレーザ共振器モードのFSRより広いので、所定の光路長の変調によって、レーザ・モードの波長の変調を生成するための共振器長さの同様の光路長変調よりも大きな対応する変調が、エタロン透過モードの波長において生成される。

40

【0066】

このグリッド・エタロン34の変調は、レーザ周波数が見かけ上固定されてグリッド・エタロン通過帯域が変調されるという事を除けば、図6に記載された方法と同様の方法を

50

用いて共振器長さをサーボ機構で固定するために利用可能である。エタロン通過帯域の振動はゲイン媒体 1 2 へのフィードバックを変調し、これによって、電圧センサ 3 2 によって検知されたゲイン媒体 1 2 の両端の電圧が変調される。コントローラ 7 6 によって導出されたゲイン媒体 1 2 の両端の電圧の変調に基づく誤差信号は、上述された方法で共振器長さを調節するために使用することが出来る。

【 0 0 6 7 】

グリッド・エタロン 3 4 の光路長の変調によって、レーザ 1 1 0 の共振器長さがさらに変調され、これにより、小さな波長変調を生成する。いくつかの実施例では、レーザ信号の波長変調がほとんど無いか全く無い事が望ましい。波長変調を相殺するために、ディザ部材 1 1 6 は、ディザ部材 1 1 2 と逆位相で、最小の全共振器長さ変調および最小のレーザ波長変調を達成するのに適切な振幅によってエンドミラー 1 4 を駆動するのに用いられて良い。10

【 0 0 6 8 】

チャネル・セレクタ 3 6 に変調信号を供給することによって、チャネル・セレクタ 3 6 の面 4 2 、 4 4 間の光路長 d_{G_S} が変調される。チャネル・セレクタ 3 6 を貫通する伝達を変調する事によって、レーザ・ゲイン媒体 1 2 へのフィードバックが変調され、これによって、センサ 3 2 によって検知されるゲイン媒体 1 2 の両端の電圧が変調される。前述したように、レーザ波長が見かけ上固定されて通過帯域が変調されるという事を除けば、図 6 に記載された方法と同様の方法を用いて、誤差信号が検出された電圧変調から導出される。この誤差信号はコントローラ 7 6 による補償信号を生成するために使用され、この補償信号は、チャネル・セレクタ 3 6 を駆動部材 4 6 を用いて上記された方法で位置的に調節するために使用される。20

【 0 0 6 9 】

一実施形態において、図 7 の損失部材 3 4 、 3 6 のそれぞれについての変調信号の使用は連続して実行されても良い。この状況で、コントローラ 7 6 は、グリッド・ジェネレータ 3 4 およびチャネル・セレクタ 3 6 を連続的にディザリングする。グリッド・エタロン 3 4 がディザリングされる際、ゲイン媒体の両端の電圧変調が測定され、生じた誤差信号は共振器長さを調節するために使用される。チャネル・セレクタ 3 6 がディザリングされる際、ゲイン媒体 1 2 の両端で検知された電圧変調は、チャネル・セレクタ 3 6 の位置を光路 2 2 を移動するビームに対して変えることによって光路長 d_{G_S} を調節するために使用される。運転中に各損失部材の最適な損失特性および外部共振器レーザ 1 1 0 の最適な損失プロファイルを保証するために、上記の運転は、レーザ運転中に連続的に繰り返されて良い。30

【 0 0 7 0 】

別の実施形態では、ディザ変調は、ディザ部材 1 1 2 、 1 1 4 によってグリッド・エタロン 3 4 およびチャネル・セレクタ 3 6 のそれぞれに同時に導入されても良い。部材 1 1 2 、 1 1 4 、 1 1 6 によって提供されるディザ変調は、それぞれ別々でかつ相互に干渉しない周波数によって行われる。従って、損失要素 3 4 、 3 6 のそれぞれの周波数変調により、ゲイン媒体 1 2 の両端の電圧が、別々でかつ干渉しない周波数によって同時に変調され、これらは電圧センサ 3 2 によって同時に検知できる。この配置により、ゲイン媒体 1 2 の両端における、別々でかつ干渉しない周波数による変調によって導出される誤差信号に従って光路長 d_{G_E} および光路長 d_{G_S} を同時にインシトゥー調整する事を可能にする。40

【 0 0 7 1 】

繰り返すが、グリッド・エタロン 3 4 、チャネル・セレクタ 3 6 およびエンドミラー 1 4 は、ゲイン媒体 1 2 の両端で検知された電圧変調によって調整可能な損失特性を持ち得る外部共振器レーザ中に存在し得る損失部材のうちの幾つかを代表するものに過ぎない、と言う事に注目されるべきである。レンズ 2 0 、エンドミラー 1 4 のチルト、または他の光学要素（図示されない）に関する損失が、本発明におけるゲイン媒体の両端の電圧変調を使用して調節することが出来る損失特性を有するであろう。50

【0072】

図8は損失部材122を示し、損失部材122は複数のディザ部材124、126、128と接続され、複数のディザ部材124、126、128は、損失部材122の複数の位置的な自由度へのディザ変調の導入を可能にするような構成になっている。損失部材122は、例えば、レーザの製造時にアライメントを固定するために用いられるか、もしくは運転時のためにエンドミラーとして用いられるレーザ・エンドミラーであって良い。複数の位置的な自由度のそれぞれはディザ部材124、126、128によって導入される周波数変調を有しても良く、位置的な自由度のそれぞれは、ゲイン媒体の両端で検知される電圧変調により導出される誤差信号によって調整可能である。ディザ部材は圧電素子部材、マイクロメカニカル部材、あるいは他の位置決め用アクチュエーターであって良い。損失部材122の位置的な自由度が、 z (z 軸に沿った並進運動)、 x (x 軸のまわりの回転)および y (y 軸のまわりの回転)によって図示される。これらの位置的な自由度のそれぞれは、損失部材122の損失特性に影響し、上述された方法で監視される電圧変調に従って、損失部材122の z 、 x および y を調節するために構成される並進・回転調整部材124、126、128によって調節することができる。10

【0073】

損失部材122の位置的な自由度それぞれのディザリングおよび調整は、上述されるように、連続して実行されても良いし、または別々でかつ干渉しない周波数変調を用いて同時に実行されても良い。複数の損失部材122がレーザ共振器(図示されない)の中に存在する中で、各損失部材122の個々の位置的な自由度のディザリングは、同時にあるいは連続して実行されて良い。20

【0074】

次に、図9は、本発明における、損失を評価し修正するためのゲイン領域の両端の電圧の監視を用いる、固体レーザ装置130を示す。レーザ130は、ゲイン領域132、位相制御領域134、およびプラッグ格子または反射器領域136を備える、単一チップに統合された分布プラッグ反射器(DBR)装置として構成され、図示されている。レーザ130は、レーザ共振器を画定する面138、140を備える。ゲイン領域132が第1電流源 I_1 に動作可能のように接続され、位相制御領域134が第2電流源 I_2 に動作可能のように接続され、プラッグ反射器136は第3電流源 I_3 に動作可能のように接続される。運転中、ゲイン領域132は、電流源 I_1 より駆動電流によってポンピングされる。共振器の往復光路長を調節するために、位相制御領域134は電流源 I_2 からの電流によって制御される。プラッグ反射器136は同調素子かチャネル・セレクタとして機能し、有効な格子ピッチを変更するために、電流源からの電流 I_3 を選択的に印加することによって調節される。レーザ130は、面140から光出力を伝達するために構成される。この種のDBRレーザの製造および運転は公知技術である。パワースプリッタおよび追加の位相制御領域およびプラッグ反射器領域(図示されない)が、バーニヤの効果による同調レンジの向上のために組込まれても良い。これらの付加物、また、他の追加の損失要素は、図9に示された損失要素のために本願に記載された方法と同様の方法で制御されて良い。30

【0075】

DFBレーザ130のプラッグ反射器領域136は、面138、140によって画定されたレーザ共振器に関する損失部材である。この点において、DFBレーザ130は上記された外部共振器レーザに類似しているが、共振器内損失部材が固体レーザの一体化された部分として存在する。分布プラッグ反射器は、ゲイン領域132へ波長的に選択的なフィードバックを供給する。電流源 I_3 の直流レベルに加えられた小さい交流電流変調が、波長フィルタ部材136の通過帯域を変調する。この通過帯域変調は、ゲイン領域132へのフィードバックを変調し、センサ142上に電圧変調を生じさせる。この電圧変調は、電流源 I_3 の直流レベルを調節するために、制御要素(図示されない)によって使用される。

【0076】

50

I_3 に加えられた交流変調によって、レーザ出力の波長変調として現われる共振器長さの小さな変調が生成され得、これは、同振幅で反位相の経路長変調を生成するために、電流源 I_2 に補償電流変調を加える事によって相殺され得る。電流源 I_1 および I_2 の直流レベルは、それぞれモニタフォトダイオードおよび波長ロッカー（図示されない）からの信号にそれぞれ基づき、制御要素（図示されない）を使用して設定されて良い。制御要素は、さらに電流源 I_5 に加えられた印加電圧の周波数において波長ロッカー上の信号を監視し、および、レーザの波長変調を補償するために電流源 I_3 に印加される交流信号の振幅と位相を設定するために利用可能な誤差信号を計算しても良い。

【0077】

本発明の使用に際し、例えば、損失部材の変調が、連続的に除去する方法が存在しない
不必要的波長あるいは振幅変調のような、望まれない副作用を引き起こす、と言うような
状況が発生し得る。こう言った状況下において、損失部材のディザはショート・バースト
によって実施することができる。誤差信号はこれらのバースト中にコントローラによって
生成される。バーストは、データが送信されない期間のような他のシステム・イベントと
更に同期されても良い。

【0078】

本発明の方法は、図7、図9および図10を参照する事によってより完全に理解される
であろう。図10のフローチャートは、本発明におけるレーザの運転中に生じる様々なイ
ベントを例証する。イベント200Aにおいて、第1損失部材Aがディザリングまたは周
波数変調される。損失部材Aは例えば、例えば、図7に示されるようなエンド反射器1
4、チャネル・セレクタ36、グリッド・エタロン34、または、図9に示されるような
位相制御領域134またはブレッギング反射器136、または他の共振器内損失部材を含んで
良い。イベント200Aにおける部材Aのディザリングは、損失部材Aのz(z軸に沿
った並進運動)、x(X軸のまわりの回転)、およびy(y軸のまわりの回転)のそれ
ぞれの位置的な自由度における個別のディザリングを含んで良く、図8に示したよう
に、また前述されたように同時に実施されてもよいし、連続的に実施されても良い。

【0079】

損失部材Aがディザリングされる際、ゲイン媒体または領域の両端の電圧はゲイン媒体
に位置する電圧センサによってイベント210Aにおいて監視される。上述されたように
、損失部材Aに導入されたディザまたは周波数変調は、ゲイン媒体の両端の電圧変調と
して検知できる。図6に示されたように、また前述されたように、電圧変調の振幅および位
相は、損失部材Aの損失特性を示している。イベント220Aにおいて、イベント210
Aにおいて監視される電圧から誤差信号を生成または導出するための信号処理が実行され
る。図5に示されたように、また前述されたように、信号処理は、コントローラ60ある
いは72中の信号処理部材94によって、フーリエ変換によって実行されて良い。誤差信
号は、レーザ・ゲイン媒体の両端で検知された電圧変調の振幅および(または)位相によ
る損失部材Aの損失特性を反映し、損失部材Aの全ての必要とされる修正的調整を示す。

【0080】

イベント230Aにおいて、損失特性が損失部材Aに関して検知されているかどうかに
ついての判断がなされる。損失部材の損失特性の判断は、上記されたように、レーザ・ゲ
イン媒体の両端で検知された電圧変調の振幅および(または)位相によってなされる。検
知された電圧変調が最適の振幅および(または)位相特性を示す場合、損失は検知されず
、イベント200A～230Aが繰り返されて良い。検知された電圧変調が最適でない振
幅および(または)位相特性を示す場合、イベント240Aが実行される。換言すると、
イベント230Aはイベント240Aのために誤差信号を供給し、損失部材の閉ループ制
御ループを完成させる。

【0081】

イベント240Aにおいて、部材Aに関する損失の存在を示す誤差信号を0にする、す
なわちヌル化するために、損失部材Aに対して調整がなされる。調整の性質は、損失部材
および損失特性の種類に依存して変わるであろう。この調整は、例えば、1以上の位置的

10

20

30

40

50

な自由度に沿った損失部材 A の並進および（または）回転操作を含んで良い。もしくは、この調整は、損失部材に対する温度または電圧調整を含んで良い。損失部材 A が例えば図 7 に示されるようなエンド反射器 14 である場合、イベント 240A の中の調整は、上述された方法で補償要素 74 を加熱または冷却する事によって反射器 14 を熱的に位置調整する事を含んで良い。いくつかの実施形態において、損失部材のディザリングおよび調整が同一のアクチュエーターによって提供され、他の実施形態においては、損失部材のディザリングおよび調整は別々のアクチュエーターによって提供されても良い。

【0082】

イベント 200Bにおいて、ディザリングまたは周波数変調が他の損失部材 B に適用される。イベント 200B がイベント 240A の後に生じても良いし、あるいは上記されたイベント 200A～240A と同時に生じても良い。再び、損失部材 B は、レーザ共振器に関する任意の損失部材を含んで良い。また、イベント 200B における部材 B のディザリングは、位置的な自由度 z、x および y のそれぞれの同時または連続的なディザリングであって良い。10

【0083】

上記されるように、損失部材 B がディザリングされる際、ゲイン媒体または領域の両端の電圧は、レーザ・ゲイン媒体に位置する電圧センサによってイベント 210B において監視される。損失部材 B に導入されたディザまたは周波数変調はゲイン媒体の両端の電圧変調として出現し、変調の振幅および位相特性が、損失部材 B の損失特性を示す。

【0084】

イベント 220Bにおいて、イベント 210Bにおいて監視される電圧から誤差信号を生成または導出するための信号処理が実行される。部材 B が、部材 A と一緒に、しかし別々の周波数で変調されている場合、別々の周波数のフーリエ変換によって別々の誤差信号が提供されるであろう。誤差信号は、損失部材 B の損失特性を示し、損失部材 B の全ての必要とされる修正的調整を示す。20

【0085】

イベント 230Bにおいて、レーザ・ゲイン媒体の両端で検知された電圧変調の振幅および（または）位相によって損失部材 B の損失が検知されるかどうかに関してクエリーマまたは判断がなされる。損失が検知されない場合、イベント 200A～230A が繰り返されて良い。また、損失が検知された場合、イベント 240B が実行され、部材 B に関する損失の存在を示す誤差信号を 0 にする、すなわちヌル化するために、損失部材 B に対して調整がなされる。イベント 200B～240B は、イベント 200A～240A と一緒に生じてもよいし、または、イベント 240A に続いて生じても良い。上述したように、損失部材 A および B について別々のディザ周波数を使用することによって、別々の周波数変調について振幅と位相の変化を同時に監視する事が可能となり、また損失特性の評価および損失部材の調整を同時に実行する事が可能となる。30

【0086】

イベント 200n～240n は、上述されたイベント 200A～240A および 200B～240B とほぼ同一であるが、レーザ共振器に関する n 番目の損失部材のために実行される。再び、上記されたように、イベント 200n～240n は、各損失部材 A、B、…n に対して相互に干渉しないディザ周波数を使用する事によりイベント 200A～240A および 200B～240B と一緒に実行されても良く、もしくは、連続的に実行されても良い、と言う事が注目される。ディザ部材 A、B、…n に関する様々なイベントが、同時ディザリングと連続的ディザリングの混合で実行されても良い。部材の同時ディザリングが、制限のあるタイム・スライス中の「バースト」中に生じても良いし、他のイベントと連続的に並べられても良い。40

【0087】

本発明は特定の実施例に関して記載された一方、本発明の真の精神と範囲から逸脱することなく、さまざまな修正がなされ得、均等物によって置換され得る事が当業者によって理解されるべきである。加えて、特定の状況、材料、組成物、プロセス、工程段階を、本50

発明の目的、精神および範囲に適応させるために、多くの変更が成され得る。この種の変更の全てが、添付の特許請求の範囲の範囲内であることが意図されている。半導体ゲイン領域を備えるレーザを操作する方法であって、前記ゲイン領域の両端の電圧を監視するステップと、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って、共振器の損失を確定するステップとを備える。前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って、前記レーザに関する損失特性を調節するステップを更に備える。前記損失特性を調節するステップが、前記レーザに関する損失部材を調節するステップを備える。前記損失特性を調節するステップが、前記共振器内の前記損失部材を位置的に調節するステップを備える。内部をビームが貫通するレーザ共振器のパフォーマンスを制御する方法であって、(a) 前記ビームを放射するゲイン媒体の両端の電圧を監視するステップと、(b) 前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って、前記共振器に関する光損失を確定するステップとを備える。前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って、前記共振器の損失特性を調節するステップを更に備える。前記損失特性を調節するステップが、前記共振器の損失部材を調節するステップを備える。前記損失部材を調節するステップが、(a) 前記損失部材に周波数変調を導入するステップと、(b) 前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧から、誤差信号を導出するステップとを備え、前記誤差信号が前記周波数変調の伝搬特性を示す。前記損失特性を調節するステップが、前記誤差信号に従って前記損失部材を位置的に調節するステップを備える。前記損失部材がエンドミラーを備える。前記損失部材を調節するステップが、(a) 前記損失部材の複数の位置的な自由度に周波数変調を導入するステップと、(b) 前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧から誤差信号を導出するステップと、(c) 前記損失部材の前記複数の位置的な自由度のそれぞれを調節するステップとを備え、前記誤差信号が、前記損失部材の前記複数の位置的な自由度のそれへの前記周波数変調の伝搬特性を示す。前記損失部材の前記複数の位置的な自由度のそれぞれを調節するステップが、連続して実行される。別々の周波数の変調が、前記損失部材の前記複数の位置的な自由度のそれぞれに同時に導入され、前記損失部材の前記複数の位置的な自由度のそれぞれを調節するステップが、同時に実行される。前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って、前記共振器に関する複数の損失部材を調節するステップを更に備える。前記複数の損失部材を調整するステップが、連続して実行される。前記複数の損失部材を調整するステップが、同時に実行される。前記損失部材を調節するステップが、(a) 前記損失部材のそれぞれに連続して周波数変調を導入するステップと、(b) 前記監視される電圧から誤差信号を導出するステップとを備え、前記誤差信号が、前記周波数変調のそれぞれの伝搬特性を示す。前記損失部材を調節するステップが、(a) 前記損失部材のそれぞれに同時に別々の周波数変調を導入するステップと、(b) 前記監視される電圧から誤差信号を導出するステップとを備え、前記誤差信号が前記周波数変調のそれぞれの伝搬特性を示す。前記損失部材に前記周波数変調を導入するステップが、周期的なバースト中に実行される。前記損失部材の前記複数の位置的な自由度に前記周波数変調を導入するステップが、周期的なバースト中に実行される。レーザ装置であって、(a) 光路に沿ってコヒーレントなビームを放射するゲイン媒体と、(b) 前記光路中に位置し、レーザ共振器を画定する反射器と、(c) 前記ゲイン媒体に動作可能なように接続され、前記ゲイン媒体の両端の電圧を検出するように構成される電圧センサとを備え、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧が、前記共振器に関する光損失を示す。前記電圧センサと、前記共振器の前記光路中に位置する損失部材とに動作可能なように接続されるコントロールシステムを更に備え、前記コントロールシステムが、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って前記損失部材を調節するように構成される。前記損失部材に動作可能なように接続され、前記損失部材に周波数ディザを導入するために構成されるディザ部材を更に備え、前記周波数ディザが、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧によって検知可能である。前記損失部材が、前記反射器を備える。複数のディザ部材を更に備え、前記ディザ部材のそれぞれが、前記の損失部材の対応する位置的な自由度に動作可能なように接続され、前記ディザ部材のそれぞれが、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧によって検知可能な周波数ディザを生成する。(a) 前記共振器の前

10

20

30

40

50

記光路中に位置する複数の損失部材と、(b)前記電圧センサおよび各損失部材に動作可能なように接続されるコントロールシステムとを更に備え、前記コントロールシステムが、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧に従って前記損失部材のそれぞれを調節するように構成される。複数のディザ部材を更に備え、前記ディザ部材のそれぞれが、前記損失部材の対応する1つに動作可能なように接続され、前記損失部材のそれぞれに周波数ディザを導入するように構成され、前記損失部材のそれぞれの前記周波数ディザが、前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧によって検知可能である。レーザ装置であって、(a)レーザ共振器を横切ってコピー・レントなビームを放射するためのレーザ・ゲイン媒体手段と、(b)前記レーザ共振器と関連して配置され、損失特性を生成するための損失手段と、(c)前記ゲイン媒体手段の両端の電圧を監視するための手段と、(d)前記ゲイン媒体手段の両端で監視された電圧に従って前記損失特性を確定するための手段とを備える。前記ゲイン媒体の両端で監視される前記電圧から導出される誤差信号に従って前記損失部材を調節するための手段を更に備える。前記損失部材に周波数変調を導入するためのディザリング手段を更に備える。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図1】外部共振器内の選択された損失部材に関する損失を調査するためのゲイン媒体両端の電圧の監視を例証する外部共振器レーザ装置の概略図である。

【図2】波長グリッド中の選択されたチャネルに関するチャネル・セレクタ、グリッド・エタロンおよび外部共振器に関する、図1に示される外部共振器レーザの通過帯域特性を例証するグラフである。

【図3】波長グリッド中の複数のチャネルに関する、図1に示される外部共振器レーザの同調に対するゲインを例証するグラフである。

【図4A】エンドミラーの位置決めに関する光学損失を評価し、ゲイン媒体の両端で監視される電圧から導出された誤差信号に従ってこのような損失を補償するために、ゲイン媒体の両端の電圧の監視が用いられる外部共振器レーザ装置の概略図である。

【図4B】他の実施形態の外部共振器レーザ装置の概略図である。

【図4C】他の実施形態の外部共振器レーザ装置の概略図である。

【図5A】図4に示された外部共振器レーザ用のコントロール・システムの機能ブロック図である。

【図5B】図4に示された外部共振器レーザ用のコントロール・システムの機能ブロック図である。

【図6】損失部材の周波数ディザから導出された誤差信号を例証するグラフである。

【図7】損失特性がゲイン媒体の両端の電圧変調として検知され、複数の損失部材へ周波数変調を導入するために複数のディザ部材を使用する外部共振器レーザ装置の概略図である。

【図8】損失部材の複数の位置的な自由度に関して複数のディザ部材を使用する概要を例示する概略図である。

【図9】共振器の損失を評価するために使用されるゲイン媒体の両端の電圧を監視する、分布プラグ反射器(DBR)レーザ装置を例証する概略図である。

【図10】外部共振器レーザの運転方法を例証するフローチャートである。

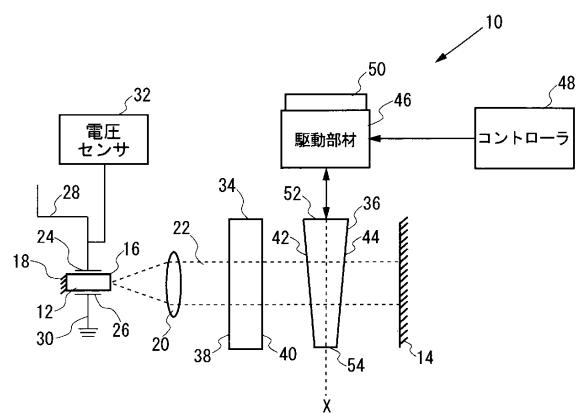
10

20

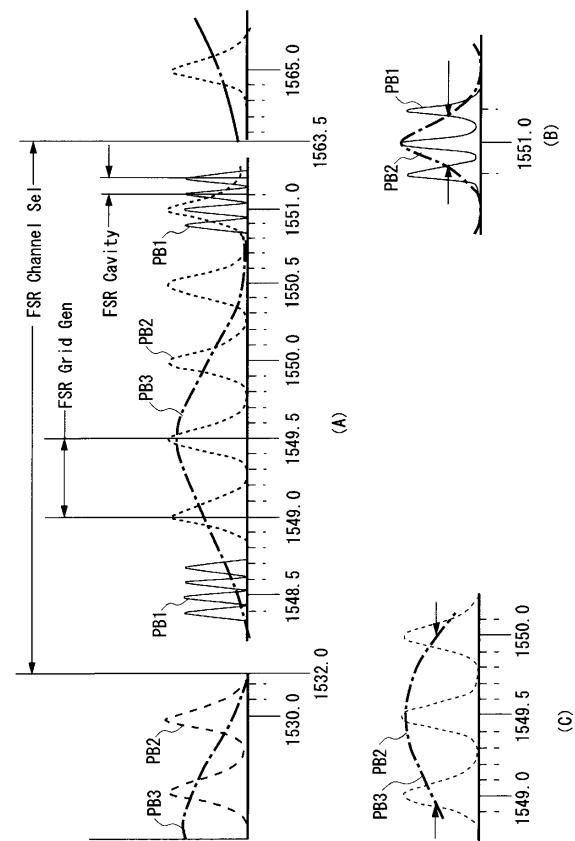
30

40

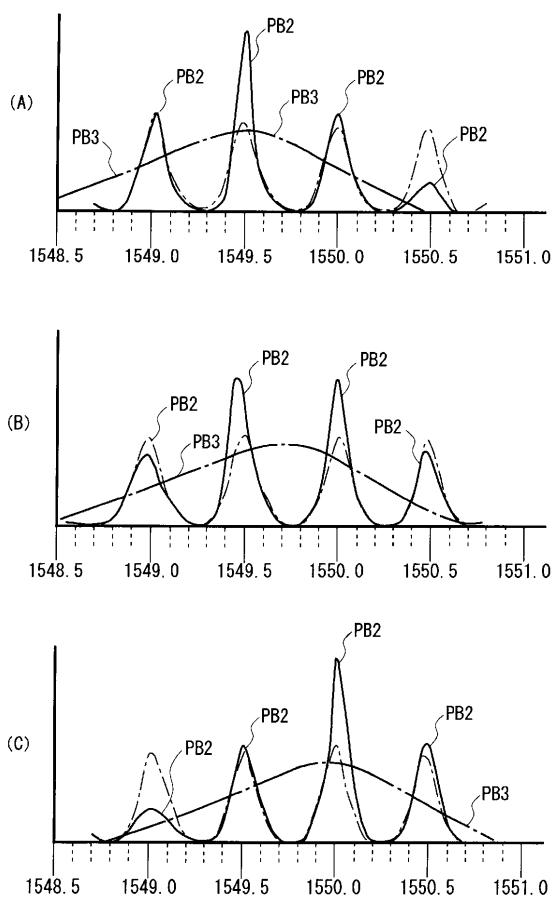
【図1】



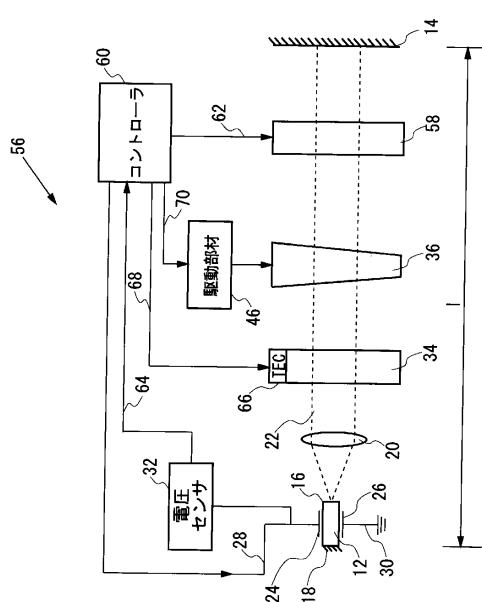
【図2】



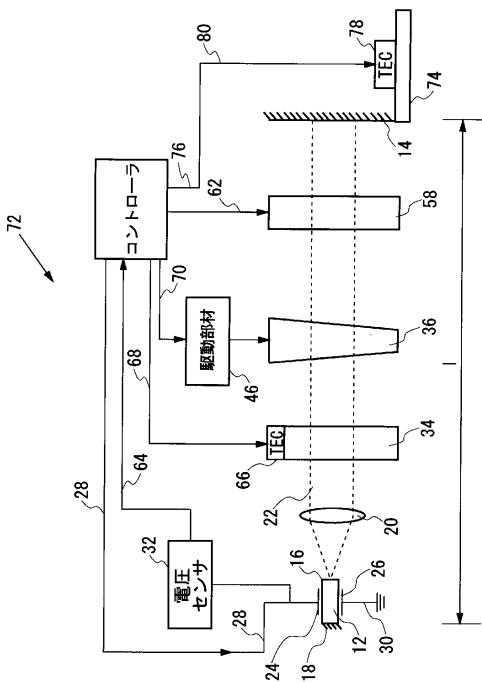
【図3】



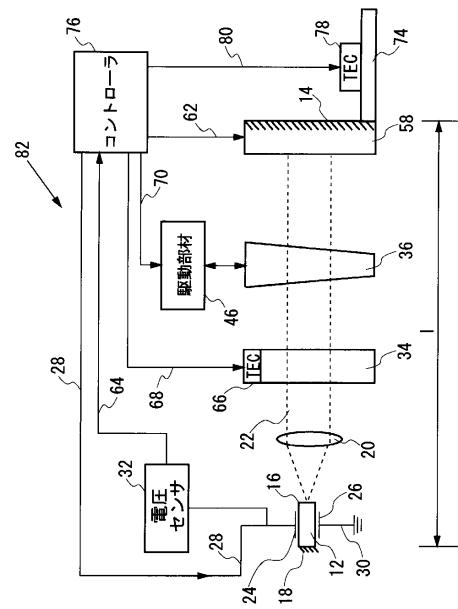
【図4 A】



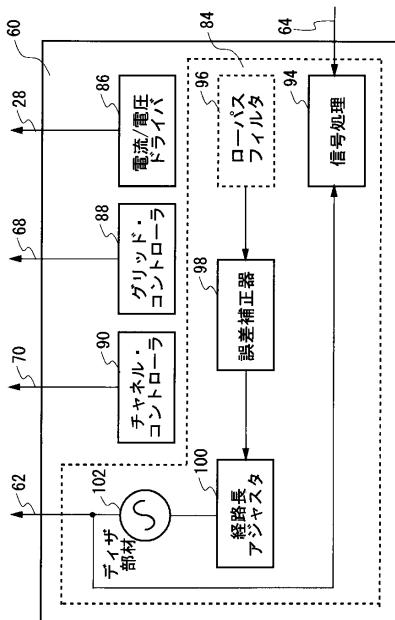
【図4B】



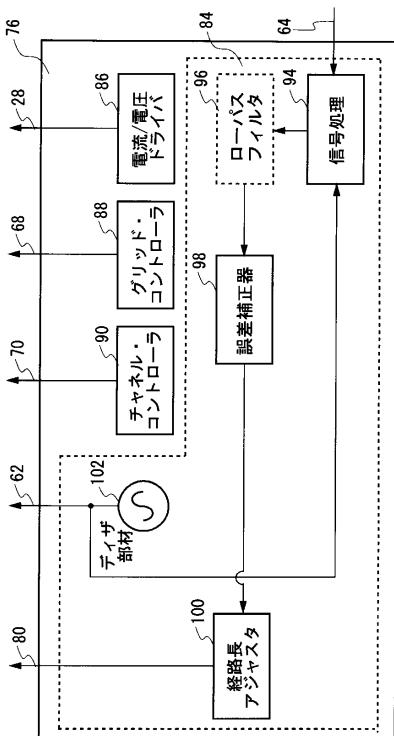
【図4C】



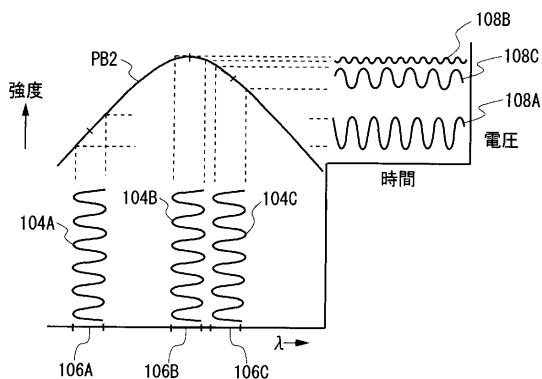
【図5A】



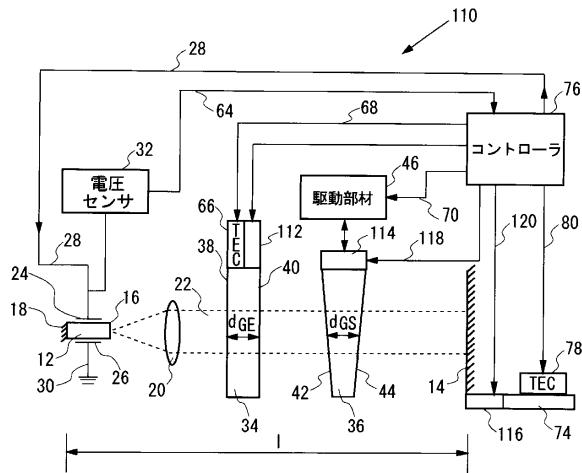
【図5B】



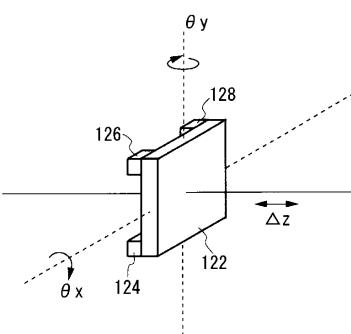
【図6】



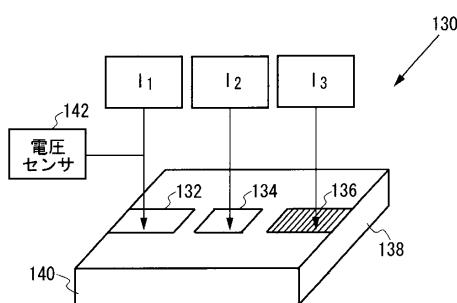
【図7】



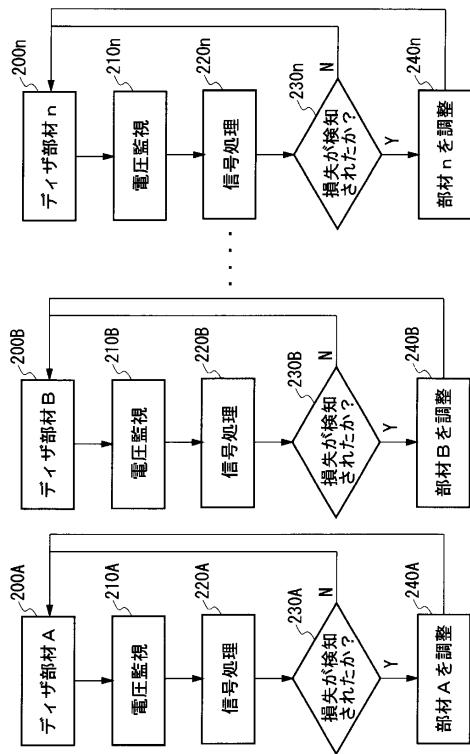
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 チャップマン ウィリアム ビー

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94086、サンベール、パストリア アベニュー、42
1 エス

(72)発明者 マクドナルド マーク イー

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95035、ミルピタス、ラ バリー ドライブ 410

審査官 瀬川 勝久

(56)参考文献 米国特許第05418800(US, A)

特開昭64-024485(JP, A)

実開平06-011370(JP, U)

特表2004-535069(JP, A)

特表2005-521233(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00-3/30

H01S 5/00-5/50