

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6522772号
(P6522772)

(45) 発行日 令和1年5月29日(2019.5.29)

(24) 登録日 令和1年5月10日(2019.5.10)

(51) Int. Cl. F I
H O I S 5/06 (2006.01) H O I S 5/06

請求項の数 20 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2017-545922 (P2017-545922)	(73) 特許権者	503260918
(86) (22) 出願日	平成28年3月4日 (2016.3.4)		アップル インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2018-511938 (P2018-511938A)		Apple Inc.
(43) 公表日	平成30年4月26日 (2018.4.26)		アメリカ合衆国 95014 カリフォル
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/021075		ニア州 クパチーノ アップル パーク
(87) 国際公開番号	W02016/144831		ウェイ ワン
(87) 国際公開日	平成28年9月15日 (2016.9.15)		One Apple Park Way,
審査請求日	平成29年8月31日 (2017.8.31)		Cupertino, Californ
(31) 優先権主張番号	62/129,607		ia 95014, U. S. A.
(32) 優先日	平成27年3月6日 (2015.3.6)	(74) 代理人	100094569
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 田中 伸一郎
		(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(74) 代理人	100103610
			弁理士 ▲吉▼田 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザの発振波長及び出力パワーの独立制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

調整要素及び導波路を有する半導体レーザを駆動する方法であって、
抵抗性クラッドを含む前記半導体レーザの前記調整要素に第1の波形を適用する処理であって、前記抵抗性クラッドが前記調整要素内において縮減された厚さで形成されたトレンチを有し、前記厚さにより前記第1の波形にตอบสนองして熱を発生する抵抗器を形成し、発生した熱は前記半導体レーザの導波路に影響を与える、当該処理と、

前記半導体レーザの前記導波路に第2の波形を適用する処理と、

前記第2の波形を適用すると同時に前記第1の波形を適用して、前記半導体レーザの発振波長及び出力パワーを変化させ、1つの変化が他の変化とは独立している、当該処理と、

を含む方法。

【請求項 2】

前記第1の波形が前記第2の波形とは異なっている、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記第1の波形及び前記第2の波形を非調和的な周波数で適用する処理を更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

前記第1の波形及び前記第2の波形の少なくとも一方が正弦波である、請求項1に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記発振波長を正弦波的に変動させるように適用する処理を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記出力パワーを一定値に維持するように適用する処理を更に含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記半導体レーザが光学パワー要件を伴うシステム内に含まれている場合、前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記システムが前記光学パワー要件で動作しているように適用する処理を更に含む、請求項 5 に記載の方法。

10

【請求項 8】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、注入電流に対する前記出力パワーの導関数がゼロになるように適用する処理を更に含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記出力パワーが少なくとも部分的に正弦波的に変動するように適用する処理を更に含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 2 の波形が前記半導体レーザの前記発振波長からの 0° 又は 180° の位相シフトを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記発振波長が一定となるか又は線形に変動するように適用する処理を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 12】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、注入電流に対する前記出力パワーの導関数がゼロになるように適用する処理を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記発振波長が線形に変動しかつ前記出力パワーが一定となるように適用する処理を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を、前記発振波長が一定となりかつ前記出力パワーが正弦波的に変動するように適用する処理を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 15】

前記発振波長を検出する処理と、
前記出力パワーを検出する処理と、
前記検出された発振波長と目標とする波長との間の第 1 の差異を判定する処理と、
前記出力パワーと目標とするパワーとの間の第 2 の差異を判定する処理と、
前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形の少なくとも一方を、前記第 1 の差異及び前記第 2 の差異の少なくとも一方を低減するように調節する処理と、
を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

第 1 の電極及び第 2 の電極を含む半導体レーザであって、
前記第 1 の電極が第 1 の波形によって駆動され、前記第 2 の電極が第 2 の波形によって駆動され、

40

縮減された厚さで形成されたトレンチを有する抵抗性クラッドを含む、

前記半導体レーザと、

前記第 1 の波形及び前記第 2 の波形を同時に適用して、前記半導体レーザの発振波長及び出力パワーを変化させ、1 つの変化が他の変化とは独立していることを実行するよう構成されているロジックと、

を備え、

前記抵抗性クラッドの前記縮減された厚さにより、前記第 1 の波形にตอบสนองして熱を発生

50

する抵抗器を形成し、発生した熱は前記半導体レーザの導波路に影響を与え、

前記半導体レーザの発振波長及び出力パワーが、前記第1の波形及び前記第2の波形の同時適用に基づいていることを特徴とした、デバイス。

【請求項17】

前記半導体レーザの調整範囲が前記半導体レーザの公称波長から少なくとも0.2%である、請求項16に記載のデバイス。

【請求項18】

前記半導体レーザが分布フィードバック(DFB)又は分布ブラッグ反射器(DBR)半導体レーザである、請求項16に記載のデバイス。

【請求項19】

前記半導体レーザが、量子カスケードレーザ(QCL)、バンド間カスケードレーザ(ICL)、又はタイプ-I半導体レーザである、請求項16に記載のデバイス。

【請求項20】

前記第1の電極が調整要素の一部を形成しており、前記第2の電極がレーザ構造の一部を形成しており、前記調整要素が前記レーザ構造に熱的に結合されている、請求項16に記載のデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2015年3月6日に提出された米国仮特許出願第62/129,607号の利益を主張し、その開示の全体が、あらゆる目的のために参照により本明細書に組み込まれる。

本件は一般に、半導体レーザを駆動するための方法に、より詳細には、このレーザの発振波長及び出力パワーを独立的に制御することに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体レーザは幅広い用途に対して有用である場合があり、いくつかの事例では、線幅が狭く単一周波数で発振する波長可変レーザを有することが望ましい場合がある。これらの用途は、線幅が極端に狭く単一周波数で発振する波長可変レーザから利益を受けることができる。

【0003】

狭い線幅及び広い調整範囲を実現するために、外部共振器レーザ(ECL)システム、分布ブラッグ反射器レーザ、又は組み込まれた調整要素を有する分布フィードバックレーザを採用できる。しかしながら、これらのシステム及びレーザの性能は、望まれない機械的可動部品、遅い反応時間、狭い調整範囲、及びレーザ出力の非線形の歪みによって限定され得る。

【発明の概要】

【0004】

本件は、組み込まれた調整要素を有する波長可変半導体レーザを駆動するための方法に関する。本方法は、レーザ発振波長及び出力パワーが独立的に制御可能となるように、調整電流及びレーザ注入電流を変調することを含み得る。いくつかの例では、調整電流及びレーザ注入電流は、同時に変調される。いくつかの例では、これらの電流の一方又は両方は、正弦波的に変調される。いくつかの例では、発振波長を調整しながら一定の出力パワーを実現できる。いくつかの例では、本開示の例により、調整電流及び注入電流が同時に変調されないレーザと比較して、より大きい調整範囲を実現できる。いくつかの例では、出力パワー及び調整は線形の関係に従い得る。いくつかの例では、目標とする出力パワー及び調整波形を実現するのに必要な注入電流駆動波形及び調整要素駆動波形は、目標とする出力パワーと実際の出力パワーとの間の及び目標とする調整波形と実際の調整波形との間の適合度に基づく最適化を通して実現できる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1】本開示の例が実装され得る例示のシステムを図示している。

【図2A】本開示の例による、外部共振器レーザシステムの図を図示している。

【図2B】本開示の例による、例示の分布ブラッグ反射器レーザを長手方向に見た図を図示している。

【図2C】本開示の例による、例示の分布フィードバックレーザを長手方向に見た図を図示している。

【図3】本開示の例による、レーザの断面図を図示している。

【図4A】本開示の例による、組み込まれた調整要素を有する例示のレーザを図示している。 10

【図4B】本開示の例による、組み込まれた調整要素を有するレーザに関する例示の熱関連の時間遅延を図示している。

【図4C】本開示の例による、調整要素電極上で駆動された矩形波に応じた光出力パワーの例示のプロットを図示しており、熱関連の時間遅延の違いに起因して、立上り及び立下り時間が非対称である。

【図5A】本開示の例による、レーザ注入電流とレーザ出力パワーとの間の例示の関係を図示している。

【図5B】本開示の例による、レーザ駆動力と発振波長又は波数との間の例示の関係を図示している。 20

【図5C】本開示の例による、注入電流とレーザ電圧との間の例示の関係を図示している。

【図5D】本開示の例による、活性領域の温度と熱ロールオーバー電力との間の例示の関係を図示している。

【図5E】本開示の例による、調整要素電力とレーザ出力パワーとの間の例示の関係を図示している。

【図5F】本開示の例による、調整要素電力と発振波長又は波数との間の例示の関係を図示している。

【図5G】本開示の例による、調整要素駆動電流と調整要素電圧との間の例示の関係を図示している。 30

【図6】本開示の例による、レーザからの発振波長及び出力パワーの同時変調及び動的調節のための例示の機構を図示している。

【図7A】本開示の例による、レーザの調整要素に適用される例示の正弦波的に変調された駆動波形、及び導波路に適用される一定の駆動波形を図示している。

【図7B】本開示の例による、レーザの電極に適用される例示の正弦波的に変調された駆動波形を図示している。

【図7C】本開示の例による、レーザからの例示の正弦波的に変動する波長シフト、及び熱ロールオーバー電力を下回る一定の出力パワーを図示している。

【図7D】本開示の例による、レーザからの例示の正弦波的に変動する波長シフト、及び熱ロールオーバー電力と同じか又はこれに近い出力パワーを図示している。 40

【図7E】本開示の例による、例示の正弦波的に変動する波長シフト、及びシステム要求値に等しい一定の出力パワーを図示している。

【図7F】本開示の例による、レーザの電極に適用される例示の非正弦波的に変調された駆動波形を図示している。

【図7G】本開示の例による、発振波長の例示の線形ランプを図示しており、レーザからの一定の出力パワーは、熱ロールオーバー電力を下回っている。

【図7H】本開示の例による、熱ロールオーバー電力と同じか又はこれに近い発振波長及び出力パワーの例示の線形ランプを図示している。

【図7I】本開示の例による、レーザからの例示の変動可能な波長シフト及び変動可能な出力パワーを図示している。 50

【図 8 A】本開示の例による、注入電流及び調整要素電流を最適化するための例示のプロセスフローを図示している。

【図 8 B】本開示の例による、注入電流及び調整要素電流を最適化するための例示のプロセスフローを図示している。

【発明を実施するための形態】

【0006】

以下の例の説明では、実施され得る具体的な例が例示として示されている添付の図面を参照する。様々な実施例の範囲から逸脱することなく、他の実施例を使用することができ、構造上の変更を実施することができることを理解されたい。

【0007】

様々な技法及びプロセスフローのステップについて、添付の図面において図示されるような例を参照して詳細に記載する。以下の説明では、本明細書において記載又は言及される1つ以上の態様及び/又は特徴を完全な理解を提供するために、多数の具体的な詳細が明記される。ただし当業者には、本明細書において記載又は言及される1つ以上の態様及び/又は特徴が、これらの具体的な詳細の一部又は全てを伴わずに実施されてよいことが明らかであろう。他の事例では、本明細書において記載又は言及される態様及び/又は特徴の一部を不明瞭にしないように、よく知られているプロセスステップ及び/又は構造は詳細に記載していない。

【0008】

更に、プロセスステップ又は方法ステップは逐次的な順序で記載することができるが、そのようなプロセス又は方法は、任意の好適な順序で機能するように構成することができる。言い換えれば、本開示において記載され得るステップのどのような任意のシーケンス又は順序も、これらのステップがその順序で行われることが必要であるとそれ自体で示すものではない。更に、一部のステップは、(例えば、あるステップが他のステップの後に述べられていることにより)同時に起こらないものとして述べられるか又は示唆されていても同時に実行される場合もある。更に、図面における描写によるプロセスの例示は、例示されたプロセスがそれに対する他の変形や修正を排除することを示唆しておらず、例示されたプロセス又はそのステップのうちのいずれかが例のうちの1つ以上にとって必要であることを示唆しておらず、例示されたプロセスが好ましいことを示唆していない。

【0009】

本開示は、組み込まれた調整要素を有する波長可変半導体レーザを駆動するための方法に関する。調整電流及びレーザ注入電流は、レーザ発振波長及び出力パワーが独立的に制御可能となるように、変調することができる。独立的に制御可能な発振波長及び出力パワーを用いて、(調整電流及び注入電流が同時に変調されないレーザと比較して)より広い調整範囲を実現でき、このレーザは、実質的に一定の出力パワーで発振でき、同時に発振波長が調整される。更に、望まれない機械的可動部品、並びに遅い反応時間及び非線形の歪みなどのレーザの性能の低下が、回避又は低減され得る。

【0010】

本開示による方法及び装置の代表的な用途が、本項目内に記載されている。これらの例は単に、状況を追加し、記載された例の理解を助けるために提供されている。したがって当業者には、記載された例が、具体的な詳細の一部又は全てを伴わずに実施されてよいことが明らかであろう。他の適用例が可能であり、それゆえ以下の実施例は、限定的なものとして解釈されるべきではない。

【0011】

図1は、本開示の例が実装され得る例示のシステムを図示している。微量気体検出システム110は、ディスプレイ112、レーザ114、及び検出器116を含み得る。レーザ114は、後で開示するような方法及び波形のいずれかを用いて、設定可能に動作可能とすることができる。

【0012】

微量気体検出、環境モニタリング、生物医学診断法、電気通信、及び工業工程制御など

10

20

30

40

50

の多くの用途に関して、波長可変半導体レーザが必要とされている。これらの用途は、特に、線幅が狭いか又は極端に狭い、単一周波数で発振する波長可変レーザから利益を受けることができる。

【 0 0 1 3 】

通常は大型のかさ張るシステムにおいて使用されるものの、波長可変半導体レーザは、可搬型電子デバイスにおいて多くの使用を見ることができる。例えば、壁装着可能な微量気体検出システム 1 1 0 を使用者の車庫内に配置し、この車庫内に停車した自動車からの排気が安全なレベルを超えたかどうかを検出するために使用することができる。壁装着可能な微量気体検出システム 1 1 0 は、ディスプレイ 1 1 2 上に警告を提供し、この情報を携帯電話機に追加的に送信することができる。それに応じて、携帯電話機はこの危険について使用者に警告でき、使用者が車庫に入るのを防止することができる。

10

【 0 0 1 4 】

広い調整範囲を実現するための 1 つの方法は、外部共振器レーザ (E C L) システムを使用することである。図 2 A は、本開示の例による、外部共振器レーザシステムの図を图示している。 E C L システム 2 0 8 は、利得媒体 2 0 0、レンズ 2 0 2、及び回折格子 2 0 4 を含み得る。 E C L システム 2 0 8 の発振波長は、回折格子 2 0 4 を回転させることによって調整することができる。 E C L システム 2 0 8 は広い調整範囲を実現できるが、システムは肉眼で見える機械的可動部品を含む可能性があり、したがって、調整速度が限定されている可能性があり、精密な位置合わせを必要とする可能性があり、機械的振動の影響を受け易い可能性があり、かつモードホップを呈する傾向を有する可能性がある。外部共振器レーザアーキテクチャは、既に検討した用途の多くにとって、特に可搬型電子デバイスにおいて使用されるとき、実用的でない可能性がある。

20

【 0 0 1 5 】

広い調整範囲及び狭い線幅を実現するための別の方法は、半導体レーザ内に周期的構造を組み込むことによるものである。組み込まれた周期構造を有する 2 つの種類 of レーザは、分布ブラッグ反射器 (D B R) レーザ及び分布フィードバック (D F B) レーザである。

【 0 0 1 6 】

図 2 B は、本開示の例による、例示の D B R レーザを長手方向に見た図を图示している。 D B R レーザ 2 1 0 は、利得区域 2 1 4 とは別個とすることができる格子区域 2 1 2 内に配置された、 1 つ以上の回折格子を備え得る。いくつかの例では、 D B R レーザ 2 1 0 は、デバイス (图示せず) の両端部に配置された格子区域、例えば格子区域 2 1 2 を含み得る。回折格子は、活性領域 2 1 6 上に又はこの上方に配置することができ、光を空洞内へと反射して戻して共振器を形成するための、光学的フィードバックを提供するように採用され得る。格子は、波長の狭帯域のみを反射して単一縦モード波長を生成するように構成することができ、格子の周期は、特定のレーザ発振波長を実現するように調節することができる。

30

【 0 0 1 7 】

図 2 C は、本開示の例による、例示の D F B レーザを長手方向に見た図を图示している。 D F B レーザ 2 2 0 は格子区域 2 2 2 内に配置された回折格子を備えることができ、これらは活性領域 2 2 6 内に組み込むか又は活性領域 2 2 6 上に配置することができる。 D F B レーザの回折格子の構造及び機能性は、 D B R レーザのものと同様とすることができる。しかしながら、格子区域 2 1 2 が利得区域 2 1 4 とは別個である D B R レーザとは異なり、 D F B レーザは、格子区域と一致する利得区域を有し得る。 D F B レーザの利得区域は格子区域 2 2 2 と同じ領域内に配置され得るので、 D F B レーザはより短い空洞長さを有し得る。加えて、 D F B レーザは、モードホップの影響をより受けにくい可能性がある。

40

【 0 0 1 8 】

図 3 は、本開示の例による、レーザの断面図を图示している。レーザ 3 0 0 は、基板 3 1 0、クラッド層 3 1 2、絶縁クラッド 3 1 8、活性領域 3 1 4、及び電極 3 1 6 を備え

50

得る。レーザ300は、サブマウント320上に装着されるか、又はこれに触れている。レーザ300は、例えば、注入電流 I_L を供給するソース324によって駆動され得る。レーザ300の発振波長を調整するために、活性領域314の温度又は注入電流 I_L を調節することができる。いくつかの例では、温度を調節して発振波長を大まかに調整することができ、より精確な調整のために注入電流 I_L を調節することができる。

【0019】

活性領域314の温度を調節するために、熱電冷却器(TEC)322によりサブマウント320に熱を加えることができる。熱は電極316、基板310、及びクラッド層312を通過して活性領域314に至ることができ、このことは、(活性領域314上に又はその上方に配置された)格子の屈折率を変化させ得る。屈折率の変化は、発振波長の変化につながり得る。したがってレーザ300の発振波長を、TEC322を通して加えられる熱を変えることによって調整できる。しかしながら、加えられる熱を通じた調整に関して、いくつかの問題が存在し得る。レーザの加熱は、TEC322に大きな電力を要求する場合がある。大きな電力が必要であることは、可搬性及びサイズ要件に起因する厳しい電力制約を有する、可搬型電子デバイスなどの特定のデバイスにとって、実用的でない場合がある。加えて、TEC322を用いたレーザ300の加熱は、TEC322がレーザ300、サブマウント320、及びヒートシンク(図示せず)を冷却及び加熱する必要がある場合があるので、遅い反応につながって結果的に遅い調整速度をもたらす得る。この結果、熱の印加と目標とする発振波長の達成との間の時間遅延は秒のオーダーとなる可能性があり、多くの用途ではレーザ発振波長のより迅速な調節が必要な場合がある。

【0020】

レーザ300を調整する別の方法は、注入電流 I_L を通じたものであり得る。電極316を通してレーザを駆動するために、注入電流 I_L を使用することができる。加熱器322を使用するのと同様に、注入電流 I_L は、活性領域314の温度を上げることができ、この結果、発振波長が変化する。注入電流を使用する調整は、波長のより精密な調節を提供する場合があるものの、この方法を使用する場合、調整範囲が限定される可能性がある。その理由は、温度を実質的に上げるために必要な高い注入電流においては、レーザ効率が下がる場合があるからである。例えば、調整範囲は、公称波長から約0.2%のオーダーであり得る。これは、9 μm レーザに関して0.036 μm の調整範囲しかもたすことができず、これは分光法などの用途には不十分である場合がある。更に、出力パワー及び発振波長の両方が注入電流の影響を受ける可能性があるので、レーザ出力パワー及び発振波長の独立制御が可能でない場合がある。

【0021】

TECを通して又は注入電流を通して調整するとき直面するこれらの問題を克服するための1つの方法は、組み込まれた調整要素を使用することであり得る。図4Aは、本開示の例による、組み込まれた調整要素を有する例示のレーザを図示している。レーザ450は、基板460、クラッド層462、絶縁クラッド463、活性領域464、電極456、466、及び468、並びに抵抗性クラッド461を備え得る。レーザ450は、2つの別個の構造480及び482を備え得る。例えば、構造480は調整要素とすることができ、構造482はレーザ構造とすることができる。ソース474は、レーザ450を駆動するための注入電流 I_L を提供するために、レーザ構造482の頂部電極456及び底部電極468に接続することができる。調整要素又は構造480は、構造482と密に近接している電氣的に接触した構造とすることができる。ソース476は、調整要素又は構造480を駆動するための調整電流 I_T を提供するために、頂部電極466に接続することができる。1つの実施形態では、トレンチ478が、ソース476によって電流が提供されるときに熱を生成する電気抵抗器を形成する。図4Aはソース474及び476を電流源として示しているが、当業者であれば、任意の種類ソースを接続できることを理解するであろう。本開示の例としては、加熱、プラズマ分散効果、電気光学効果、又は組み合わせを通してレーザ導波路のモード屈折率を変更するソース476が挙げられるが、これらに限定されない。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

ソース 4 7 4 は、注入電流 I_L を通してレーザを駆動して目標とする出力パワーを実現することができ、ソース 4 7 6 は、調整電流 I_T を通して活性領域 4 6 4 の温度を調節して目標とする発振波長を実現することができる。しかしながら、注入電流 I_L の調節は、活性領域 4 6 4 の温度に影響する可能性があり、調整電流 I_T の調節は、レーザ 4 5 0 の利得に影響する可能性がある。注入電流 I_L 及び調整電流 I_T は完全には分離されないので、注入電流 I_L の調節及び調整電流 I_T の調節は、レーザの光学的損失又は電気特性に悪影響を与えることなく発振波長を最適化する場合に、柔軟性が限定されている可能性がある。

【 0 0 2 3 】

レーザは、図 4 B に示すように、複数の熱関連の時間遅延も含み得る。経路 4 9 0 及び 4 9 6 は、調整要素電流又はソース 4 7 6 によって誘起される熱と関連付けることができる。経路 4 9 2 及び 4 9 4 は、TEC 4 2 2 によって誘起される加熱又は冷却と関連付けることができる。経路 4 9 0 に沿った熱は、レーザ構造中の調整要素から活性領域 4 6 4 へと拡散して、数百 μs のオーダーであり得る時間遅延につながる可能性がある。経路 4 9 6 に沿った熱は、絶縁クラッド 4 6 3、基板 4 6 0、及び電極 4 6 8 を通って、TEC 4 2 2 へと拡散する可能性がある。経路 4 9 4 に沿った熱は、サブマウント（図示せず）及び基板 4 6 0 から活性領域 4 6 4 へと拡散してレーザリッジを加熱し、経路 4 9 2 に沿った熱は、レーザリッジから基板 4 6 0 及びサブマウントへと拡散してレーザリッジを冷却する。経路 4 9 2 及び 4 9 4 からの時間遅延は、約 1 ~ 100 ms であり得る。経路 4 9 0 及び経路 4 9 2 / 4 9 4 の時間遅延の間の大きな違いにより、ソース 4 7 6 及び 4 7 4 を TEC 4 2 2 とともに使用することは、非線形の歪み及び長い反応時間につながり得る。図 4 C は、本開示の例による、熱関連の時間遅延の違いに起因する、調整要素ソース 4 7 6 の矩形波変調に対する出力パワー応答の例示のプロットを図示している。

【 0 0 2 4 】

図 5 A ~ 図 5 C は、本開示の例による、レーザに適用される注入電流の変更の例示の効果を図示している。図 5 A は、本開示の例による、レーザ注入電流とレーザ出力パワーとの間の例示の関係を図示している。一定のサブマウント温度に対して、レーザ出力パワーは、レーザ閾値電流超では注入電流に線形依存し得る。レーザのスロープ効率は、この線形依存性に基づいて決定され得る。高い注入電流では、この線形依存が活性領域の温度の上昇に起因して破綻して、内部量子効率の低下につながる可能性がある。この結果、出力パワーの飽和（すなわち熱ロールオーバー）が引き起こされる可能性がある。

【 0 0 2 5 】

図 5 B は、本開示の例による、レーザ駆動力と発振波長又は波数との間の例示の関係を図示している。一定のサブマウント温度に対して、発振波長又は波数は、レーザ駆動電力に線形依存し得る。示されるように、発振波長は、駆動電力の増加とともに赤方偏移し得る。上で検討したように、活性領域の温度の変化は屈折率の変化、及びしたがって発振波長の変化につながり得る。

【 0 0 2 6 】

図 5 C は、本開示の例による、注入電流とレーザ電圧との間の例示の関係を図示している。熱調整の結果生じる発振波長のシフトは、レーザ内部での電力消散に比例する可能性があり、これは電圧及び電流の積と関連し得る。図に図示された注入電流とレーザ電圧との間の関係に起因して、発振波長は、注入電流に直接比例しない場合がある。

【 0 0 2 7 】

図 5 D は、本開示の例による、活性領域の温度と熱ロールオーバー電力との間の例示の関係を図示している。上で検討したように、注入電流の増加はより高い出力パワーにつながり得るが、活性領域の温度が上がる可能性がある。ある注入電流を超えると、活性領域の温度が非常に高くなる可能性がある。この結果、レーザの効率の低下、及び線形依存性（又は図 5 A に図示されたプロットのスロープ）からの逸脱が生じ得る。出力パワーは、レーザの安全動作範囲内の最大出力パワー（すなわち熱ロールオーバー電力、又は注入電

10

20

30

40

50

流に対するパワーの導関数がゼロであるところ)まで飽和し得る。最大出力パワー又は熱ロールオーバー電力は、限定するものではないが、ヒートシンク又は基板温度、調整電流又は加熱器電流、デバイス長さ、及びデバイス設計を含む、多くの要因に依存し得る。熱ロールオーバー電力は、図に示されるように、活性領域の温度が上がるにつれて減少し得る。結果として、熱ロールオーバー電力は、同じレーザーデバイスに関して動作条件に依存して変動し得る。

【 0 0 2 8 】

図 5 E ~ 図 5 G は、本開示の例による、レーザーの調整要素の変更の例示の効果を図示している。図 5 E は、本開示の例による、調整要素電力とレーザー出力パワーとの間の例示の関係を図示している。一定のレーザー注入電流に対して、レーザー出力パワーは、調整要素電力に線形依存し得る。図に示されるように、レーザー出力パワーは、調整電力が大きくなるにつれ減少し得る。

10

【 0 0 2 9 】

図 5 F は、本開示の例による、調整要素電力と発振波長又は波数との間の例示の関係を図示している。一定のレーザー注入電流に対して、発振波長は、調整要素駆動電力にほぼ線形依存し得る。図に示されるように、レーザー出力パワーは、調整要素駆動電力が大きくなるにつれ減少し得る。

【 0 0 3 0 】

図 5 G は、本開示の例による、調整要素駆動電流と調整要素電圧との間の例示の関係を図示している。調整要素の I V 曲線は、高い調整要素電流では非線形となる場合がある。この非線形の関係により、レーザー出力パワー及び発振波長は、調整要素電流に関して知られている関係(例えば二次依存性)を有することから乖離される可能性がある。知られている関係からの乖離に起因して、並びに発振波長及び出力パワーとの注入電流と調整要素電流との間の結合のせいで、発振波長及び出力パワーの同時の最適化は困難なものとなり得る。加えて、レーザーの性能(例えば、調整範囲及び出力パワー)が限定され得る。

20

【 0 0 3 1 】

図 6 は、本開示の例による、レーザーの発振波長及び出力パワーの同時変調及び動的調節のための機構を図示している。この機構はレーザー 6 0 0 を含み得る。レーザー 6 0 0 としては、DFB 又は DBR 半導体レーザー、例えば量子カスケードレーザー(QCL)、バンド間カスケードレーザー(ICL)、又はタイプ-I レーザーなどが挙げられるが、これらに限定されない。いくつかの例では、レーザーは、近赤外線及び中赤外線を含むいくつかの波長範囲で動作し得る。レーザー 6 0 0 は、2つの別個の電極 6 6 4 及び 6 6 6 を備え得る。一方の電極、例えば電極 6 6 4 は、調整要素(図 4 A に図示された構造 4 8 0 など)に結合され得る。他方の電極、例えば電極 6 6 6 は、レーザー構造(図 4 A に図示された構造 4 8 2 など)に結合され得る。

30

【 0 0 3 2 】

2つのソースは電極に結合されて、電極を独立的に駆動させ得る。例えば、ソース 6 7 6 を調整要素の電極 6 6 6 に結合することができ、ソース 6 7 4 をレーザーの電極 6 6 4 に結合することができる。レーザー 6 0 0 の出力 6 7 2 をレンズ 6 3 0 に向けることができ、この出力 6 7 2 はミラー 6 3 2 で反射される。ビームスプリッタ 6 3 4 は、この光学ビームを、2つの異なる経路 6 4 0 及び 6 4 2 へと分割することができる。経路 6 4 0 は、検出器 6 4 4 に向けることができる。経路 6 4 2 はミラー 6 3 6 に向けることができ、ミラー 6 3 6 は検出器 6 4 6 へと光を反射することができる。検出器 6 4 4 はレーザー出力パワーを測定でき、検出器 6 4 6 は発振波長を測定できる。いくつかの例では、経路 6 4 2 内のミラー 6 3 6 と検出器 6 4 6 との間に、エタロンを含めることができる。いくつかの例では、発振波長を測定するために光学分光計を使用できる。検出器 6 4 4 及び 6 4 6 からの検出された信号は、コンピュータ又は制御装置 6 5 0 に入力される。

40

【 0 0 3 3 】

制御装置 6 5 0 は、検出された信号と目標とする信号又は応答波形との間のずれをモニタできる。これらのずれに基づいて、制御装置 6 5 0 は、駆動波形 6 1 3 及び 6 1 5 を生

50

成できる。駆動波形 6 1 3 及び 6 1 5 は、これらのずれを最小化又は低減するための、新しい波形又は調節された波形とすることができる。御装置 6 5 0 によって生成された信号又は波形をデジタル信号からアナログ信号へと変換するために、制御装置 6 5 0 並びにソース 6 7 4 及び 6 7 6 に、デジタル - アナログ変換器 (D A C) 6 5 2 及び 6 5 4 を結合できる。

【 0 0 3 4 】

図 7 A ~ 図 7 B 及び図 7 F は、本開示の例による、レーザの電極に適用される例示の駆動波形を図示している。図 7 C ~ 図 7 E、図 7 G ~ 7 I は、本開示の例による、レーザの例示の出力波形を図示している。図 7 A に示すように、調整電流 7 0 2 を正弦波的に変調することができ、一方、レーザ注入電流 7 0 4 は一定とすることができる。いくつかの例では、(図 7 B に示すように) 調整電流 7 0 2 及びレーザ注入電流 7 0 4 の両方を正弦波的に変調することができる。いくつかの例では、レーザ注入電流 7 0 4 は、変調する調整電流 7 0 2 の正弦の平方根に比例し得る。

10

【 0 0 3 5 】

例示の結果的な出力波形が図 7 C に示されており、ここでは、レーザの波長シフト 7 0 6 は正弦波的に変動し得る。加えて、レーザは、一定の又は実質的に一定の出力パワー 7 0 8 で発振し得る。この例は、波長を調整しながら実質的に一定の出力パワーを実現できることを示している。注入電流が閾値電流よりも大きい場合、出力パワーは、所与の調整範囲又は波長シフトの範囲に対して、熱ロールオーバー電力よりも小さい可能性がある。結果として、出力パワーを、所望の調整範囲を実現するように変動 (増加又は減少) させることができる。波長を調整しながら一定の出力パワーを実現することは、波長変調分光法などの用途にとって有用であり得る。

20

【 0 0 3 6 】

図 7 D は、本開示の例による、出力パワーが熱ロールオーバー電力に近くなるようにレーザを動作させることのできる例示の波形を図示している。レーザは、電流対出力パワーのスロープが線形の関係から逸脱し始める出力パワーで (すなわち熱ロールオーバー電力の近くで) 動作させることができる。いくつかの例では、レーザは、出力パワーが熱ロールオーバー電力と実質的に等しくなるように動作させることができるが、これは、出力パワー 7 0 8 が実質的に熱ロールオーバー電力 7 1 0 よりも小さいときと比較して調整範囲の低減につながる。いくつかの例では、レーザは、線形の関係からの逸脱と、ロールオーバー電力 (すなわち、電流に対する出力パワーの導関数がゼロである電力) との間の出力パワーで動作させることができる。本開示の例は、レーザの動作条件を、活性領域温度が所与である場合に、電流に対する出力パワーの導関数がゼロになるように調節することを含む。出力パワー 7 0 8 が熱ロールオーバー電力 7 1 0 に実質的に等しいか又は近くなるようにレーザを動作させることは、基準検出器に正規化される波長変調分光測定などの用途にとって有用であり得る。

30

【 0 0 3 7 】

いくつかの例では、出力パワーを下げることによって、より大きい調整範囲が実現できる。いくつかの例では、レーザが採用されるシステム又は用途にとって必要な要件に出力パワーが基づき得るように、レーザを動作させることができる。図 7 E に図示されるように、システムの光パワー要件 7 1 1 が満たされるがこれらの要件を実質的に超えないような条件でレーザを動作させることにより、上記のシステム要件を超えてレーザを動作させるときの調整範囲と比較して、より大きい調整範囲又は波長シフトが実現され得る。例えば、使用者の車庫内に配置された (上で検討し図 1 に図示された) 微量気体検出システムを、検出された 4 0 0 p p m 未満の一酸化炭素レベルが安全レベル内にあるように構成することができる。システム要件は、4 0 0 p p m の一酸化炭素が検出される動作条件によって規定され得る。微量気体検出システムと関連付けられたレーザ (図 1 に図示されたレーザ 1 1 4 など) はその場合、システム要件が満たされ、4 0 0 p p m の一酸化炭素が検出され、(システム要件を超えるようにレーザを動作させるよりも) 更に広い調整範囲が実現されるような値で動作し得る。いくつかの例では、この値は、システム要件の 1 ~ 1

40

50

0%超でのシステム動作と等しくすることができる。

【0038】

いくつかの例では、調整電流702、レーザ注入電流704、及び波長シフト706の間の異なる位相の量は、変調の周波数に依存し得る。いくつかの例では、レーザ注入電流704と波長シフト706との間の位相差は、 0° 又は 180° とすることができる。本開示は調整機構として熱的加熱を含むが、本開示の例としては、限定するものではないが、キャリア濃度変調などの他の調整機構を挙げることができる。

【0039】

図7Fは、本開示の例による、レーザの電極に適用される例示の非正弦波的に変調された駆動波形を図示している。図に示されるように、調整電流712を変調することができるが、図7Aの調整電流702とは異なり、調整電流712は、上で検討した非線形性及び熱時間定数などの非線形性及び熱時間定数の補正を行うために、非正弦波的であり得る。加えて、レーザ注入電流714は非正弦波的であり得る。結果として、正弦波的に変動する出力波長及び一定である出力パワーがもたらされ得る。

10

【0040】

図7Gは、本開示の例による、発振波長の例示の線形ランプを図示しており、レーザからの一定の出力パワーは、熱ロールオーバー電力を下回っている。この例は、レーザの出力パワーに影響することなく発振波長を調整できることも示している。熱ロールオーバー電力730未満である一定の出力パワーを実現しながらレーザを線形に調整することは、直接吸収分光法などの用途にとって上側フレームであり得る。

20

【0041】

いくつかの例では、レーザは、図7Hに図示されているように、出力パワー波形が熱ロールオーバー電力と同じ形状を有するように動作させることができる。図7Hは、本開示の例による、熱ロールオーバー電力に近い出力パワーを有する発振波長の例示の線形ランプを図示している。レーザは、波長シフト726を線形に変化させながら出力パワー728が熱ロールオーバー電力730と実質的に等しくなるような条件で動作させることができる。発振波長のそのような線形の変化は、基準検出器に正規化される直接吸収分光法などの用途にとって有用であり得る。

【0042】

図7Iは、本開示の例による、レーザからの例示の変動可能な波長シフト及び変動可能な出力パワーを経時的に図示している。図に示されるように、出力パワー748及び波長シフト746の両方が、正弦波的に変動し得る。いくつかの例では、出力パワー748及び波長シフト746はいずれも非調和的な関係の周波数で変動し得る。出力パワー及び発振波長の両方の同時の正弦波的変調は、波長変調分光法などの用途にとって有用であり得る。

30

【0043】

当業者であれば、上記した例示の図が目標とする波形を表し得ることを理解するであろう。いくつかの例では、結果的な出力波形は、非線形性(図示せず)に起因して、目標とする波形とは異なっている可能性がある。

【0044】

図8A~8Bは、本開示の例による、注入電流及び調整要素電流を最適化するための例示のプロセスフローを図示している。プロセス800は、時間間隔を一連のサンプル点へと分割することで始まり得る(ステップ802)。いくつかの例では、プロセス800を、プロセッサ又は制御装置(図6の制御装置650など)によって行うことができる。いくつかの例では、時間間隔は、所望の電力及び波長応答波形の繰り返し周期に基づき得る。制御装置は、各サンプル点における目標の出力パワー及び発振波長を決定することができる(ステップ804)、このことから、期待される光ダイオード信号を計算できる(ステップ806)。期待される光ダイオード信号は、光ダイオードの応答曲線、エタロンの長さ、エタロンの光学特性、分光器の応答、又は任意の組み合わせなどの要因に基づき得る。

40

50

【 0 0 4 5 】

制御装置は、調整要素電流及びレーザ駆動電流を初期値に設定できる（ステップ 8 0 8）。いくつかの例では、調整要素をゼロに設定でき、レーザ駆動電流を、閾値（すなわちレーザがオンにされる値）を上回る一定値に設定できる。代替として、レーザを、所定の波形を使用して駆動できる。いくつかの例では、所定の波形は、レーザからの以前の特徴化データに基づき得る。所定の波形としては、様々な注入電流及び調整要素電流に関する光 I V 曲線、並びに注入電流の乱れのステップ応答を挙げることができるが、これらに限定されない。制御装置又は信号取得システムは、出力信号の検出及び時間間隔にわたるデジタル化が可能である（ステップ 8 1 0）。いくつかの例では、時間間隔は 1 つの時間間隔とすることができる。いくつかの例では、出力信号は、図 6 の検出器 6 4 4 及び 6 4 6 などの検出器からの、測定された信号とすることができる。

10

【 0 0 4 6 】

出力信号又は波形から、適合度を計算できる（ステップ 8 1 2）。適合度（G O F）は、出力パワー及び発振波長を含む、目標とするレーザ出力又は波形と、測定されたレーザ出力又は波形との間の差異を定量化するための性能指数とすることができる。例えば、G O F を以下のように定義できる。

【 数 1 】

$$GOF = \sum_{n=1}^P w_1 \times (W(t) - W_T(t))^2 + w_2 \times (P(t) - P_T(t))^2 \quad (1)$$

ここで、 $W(t)$ は時間 t において測定された波長であり、 $W_T(t)$ は時間 t における目標とする波長であり、 $P(t)$ は時間 t において測定された出力パワーであり、 $P_T(t)$ は時間 t における目標とする出力パワーであり、 w_1 及び w_2 は重み付け値であり、 P は時間間隔内のサンプル点の数である。

20

【 0 0 4 7 】

制御装置は、駆動注入電流又は調整要素電流又は両方を最適化できる（ステップ 8 1 4）。図 8 B のプロセス 8 5 0 は、駆動注入電流又は調整要素電流を最適化する例示のフロー図を図示している。制御装置は、時間間隔内の最初のサンプル点から始めることができる（ステップ 8 5 2）。制御装置は、レーザ注入電流又は調整要素電流又は両方を第 1 の方向に変化させ（ステップ 8 5 4）、次いで出力波形を検出し（ステップ 8 5 6）、第 1 の方向への変化から第 1 の G O F を計算する（ステップ 8 5 8）ことができる。制御装置は、レーザ注入電流又は調整要素電流又は両方を第 2 の方向に変化させ（ステップ 8 6 0）、次いで出力波形を検出し（ステップ 8 6 2）、第 2 の方向への変化から第 2 の G O F を計算する（ステップ 8 6 4）ことができる。いくつかの例では、第 1 の方向は、第 2 の方向の反対とすることができる。例えば、図 8 A のステップ 8 0 8 において設定された注入電流よりも、第 1 の方向は値を 1 段サイズ高くすることができ、第 2 の方向は値を 1 段サイズ低くすることができる。ステップ 8 6 8 では、第 1 の G O F 及び第 2 の G O F を比較することができる。（他方の G O F と比較して）どちらの G O F が最低値を有するかに、又は所定の若しくは目標とする G O F からの逸脱に基づいて、駆動波形を調節できる。

30

【 0 0 4 8 】

制御装置は、サンプル点の全てが試験されたかどうかを判定できる（ステップ 8 7 0）。されていないならば、制御装置は次のサンプル点に移り（ステップ 8 7 2）、その次のサンプル点に対して調節プロセスを繰り返す。全てのサンプル点が試験されていれば、駆動波形をメモリに保存できる（ステップ 8 7 4）。

40

【 0 0 4 9 】

いくつかの例では、プロセス 8 0 0 及び 8 5 0 を、特定の G O F 値が達成されるまで繰り返すことができる。いくつかの例では、プロセス 8 0 0 及び 8 5 0 は、連続的に又は増大する周期で進行することができ、この間レーザは、時間にわたってソース特性のどのようなドリフトも能動的に補正するように動作している。

【 0 0 5 0 】

上記した機能の 1 つ以上を、例えば、メモリに保存されプロセッサ又は制御装置（図 6 の制御装置 6 5 0 など）によって実行されるファームウェアによって行うことができる。

50

ファームウェアはまた、コンピュータ - ベースのシステム、プロセッサを含むシステム、又は命令実行システム、装置、若しくはデバイスから命令をフェッチしその命令を実行できる他のシステムなどの、命令実行システム、装置、若しくはデバイスによって、又はそれらに関連して使用するための、任意の非一時的コンピュータ可読記憶媒体内で、保存及び/又は伝送することもできる。本文書のコンテキストでは、「非一時的コンピュータ - 可読記憶媒体」は、命令実行システム、装置、又はデバイスによって、又はそれらに関連して使用するためのプログラムを包含又は保存できる、(信号を除く)任意の媒体とすることができる。非一時的コンピュータ - 可読記憶媒体としては、電子的な、磁気的な、光学的な、電磁的な、赤外線、若しくは半導体のシステム、装置、若しくはデバイス、ポータブルコンピュータディスク(磁気式)、ランダムアクセスメモリ(RAM)(磁気式)、読み出し専用メモリ(ROM)(磁気式)、消去可能プログラム可能読み出し専用メモリ(EPROM)(磁気式)、CD、CD-R、CD-RW、DVD、DVD-R、若しくはDVD-RWなどのポータブル光学ディスク、又はコンパクトフラッシュカード、SDカード、USBメモリデバイス、メモリスティックなどのフラッシュメモリ、などを挙げることができるが、これらに限定されない。本文書のコンテキストでは、「伝送媒体」は、命令実行システム、装置、若しくはデバイスによって、又はそれらに関連して使用するためのプログラムを、通信、伝搬、若しくは伝送することが可能な、任意の媒体とすることができる。伝送可読媒体としては、電子的な、磁気的な、光学的な、電磁的な、又は赤外線の、有線又は無線の伝播媒体を挙げることができるが、これらに限定されない。

10

20

【0051】

いくつかの例では、調整要素及び導波路を有するレーザを駆動する方法が開示される。方法は、レーザの調整要素に第1の波形を適用することと、レーザの導波路に第2の波形を適用することと、第2の波形を変調すると同時に第1の波形を変調することと、レーザの発振波長及び出力パワーを独立的に制御可能である、変調することと、を含み得る。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、第1の波形は、第2の波形とは異なっている。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を非調和的な周波数で変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、第1の波形及び第2の波形の少なくとも一方は、正弦波である。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、第1の波形及び第2の波形の少なくとも一方は、非正弦波である。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、発振波長を正弦波的に変動させるように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、出力パワーを一定値に維持するように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、レーザがある要件を伴うシステム内に含まれている場合、方法は、第2の波形を、システムがその要件で動作しているように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第2の波形を、注入電流に対する出力パワーの導関数がゼロになるように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、出力パワーが少なくとも部分的に正弦波的に変動するように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、第2の波形は、発振波長からの0°又は180°の位相シフトを含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、発振波長が一定となるか又は線形に変動するように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、注入電流に対する出力パワーの導関数がゼロになるように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、発振波長が線形に変動しかつ出力パワーが一

30

40

50

定となるように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、第1の波形及び第2の波形を、発振波長が一定となりかつ出力パワーが正弦波的に変動するように変調することを更に含む。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、方法は、発振波長を検出することと、出力パワーを検出することと、検出された発振波長と目標とする波長との間の第1の差異を判定することと、出力パワーと目標とするパワーとの間の第2の差異を判定することと、第1の波形及び第2の波形の少なくとも一方を、第1の差異及び第2の差異の少なくとも一方を低減するように調節することと、を更に含む。

【0052】

いくつかの例では、非一時的コンピュータ可読記憶媒体が開示される。非一時的コンピュータ可読記憶媒体は1つ以上のプログラムを保存してよく、この1つ以上のプログラムは、デバイスによって実行されるとそのデバイスに、第1の波形をレーザの第1の電極に適用することと、第1の電極がレーザの調整要素に結合されている、適用することと、第2の波形をレーザの第2の電極に適用することと、第2の電極がレーザの導波路に結合されている、適用することと、第2の波形を変調するのと同時に第1の波形を変調することと、を含む方法を実行させる命令を含む。

10

【0053】

いくつかの例では、デバイスが開示される。デバイスは、第1の電極及び第2の電極を含むレーザであって、第1の電極が第1の波形によって駆動され、第2の電極が第2の波形によって駆動される、レーザと、第1の波形及び第2の波形を同時に変調するよう構成されているロジックであって、レーザの発振波長及び出力パワーの少なくとも一方が第1の波形及び第2の波形の同時変調に基づく、ロジックと、を備えてよい。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、レーザの調整範囲は、レーザの中心波長の少なくとも0.2%である。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、レーザは、分布フィードバック(DFB)又は分布ブラッグ反射器(DBR)レーザである。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、レーザは、量子カスケードレーザ(QCL)、バンド間カスケードレーザ(ICL)、又はタイプ-Iレーザである。上で開示された1つ以上の例に加えて又はその代替として、他の例では、第1の電極は調整要素の一部を形成しており、第2の電極はレーザ構造の一部を形成しており、調整要素はレーザ構造に熱的に結合されている。

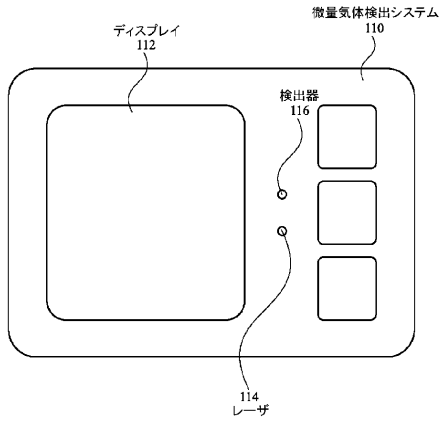
20

30

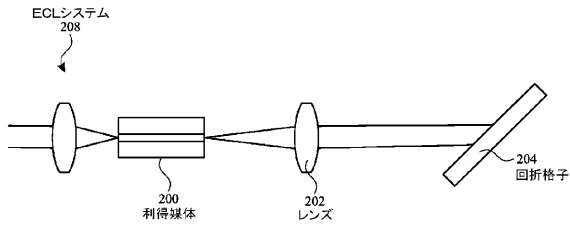
【0054】

開示された例について添付の地面を参照して十分に記載してきたが、様々な変更及び修正が当業者には明らかとなるであろうことに留意されたい。そのような変更及び修正は、付属の特許請求の範囲によって規定されるような開示された例の範囲内に含まれているものと理解されたい。

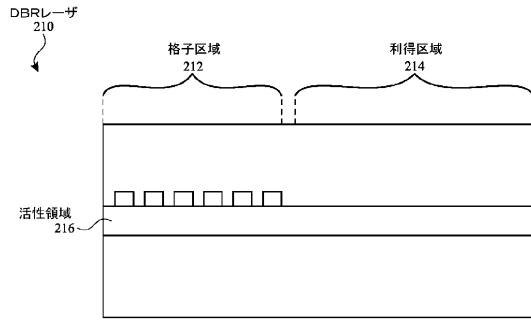
【図1】



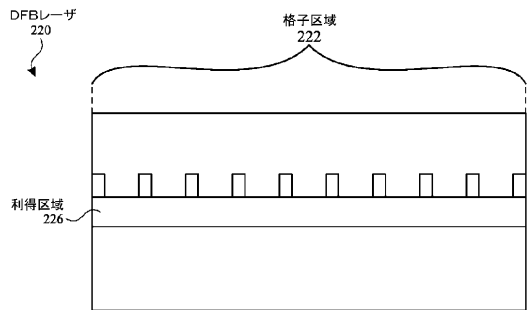
【図2A】



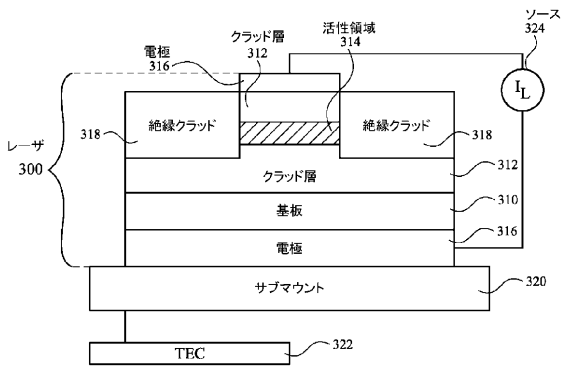
【図2B】



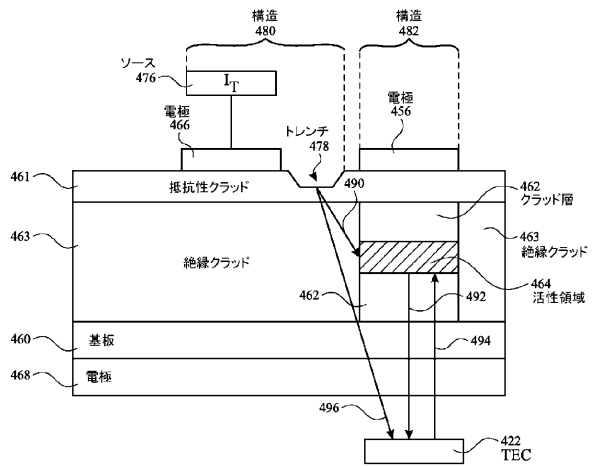
【図2C】



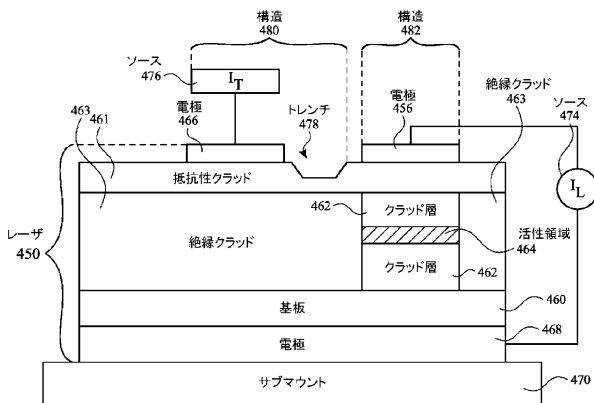
【図3】



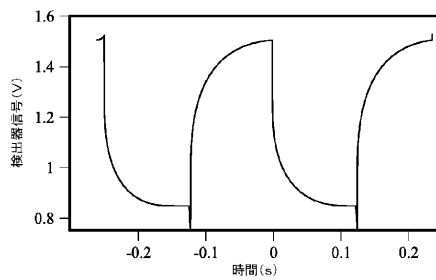
【図4B】



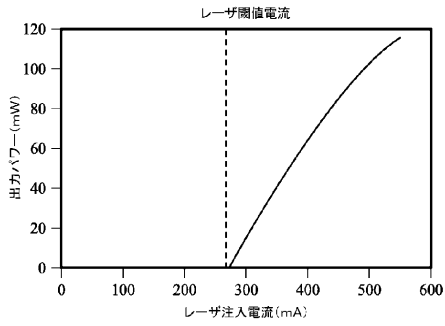
【図4A】



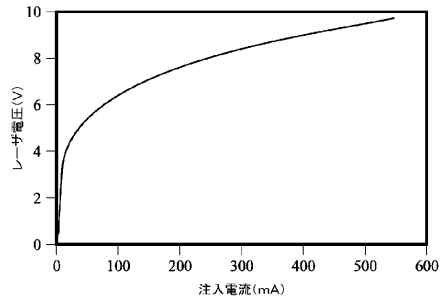
【図4C】



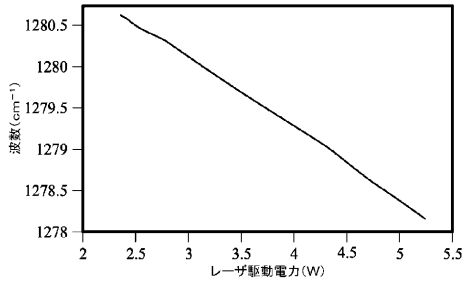
【図 5 A】



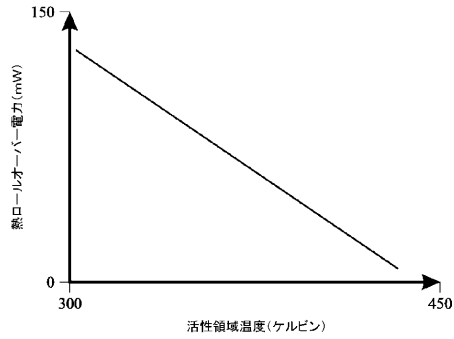
【図 5 C】



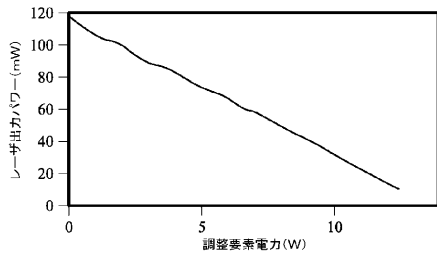
【図 5 B】



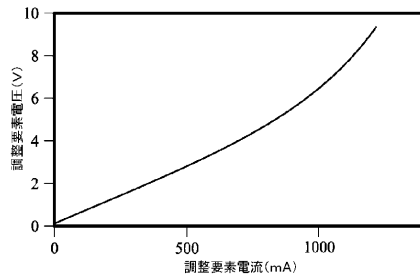
【図 5 D】



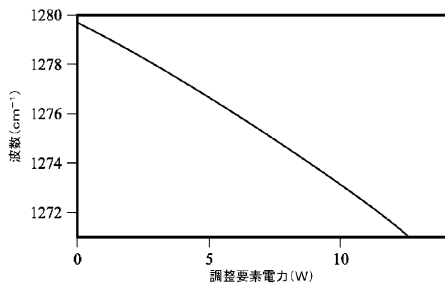
【図 5 E】



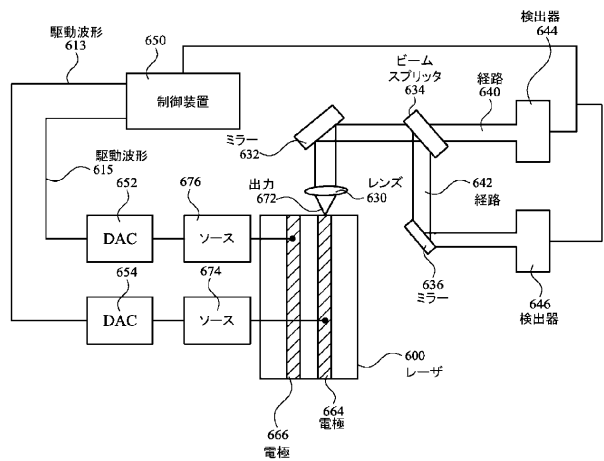
【図 5 G】



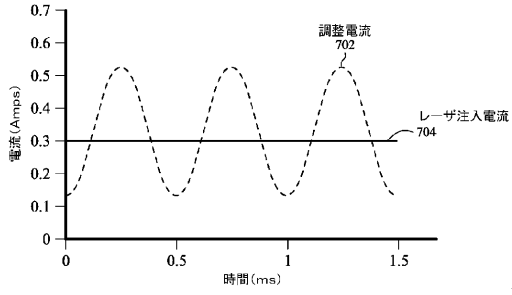
【図 5 F】



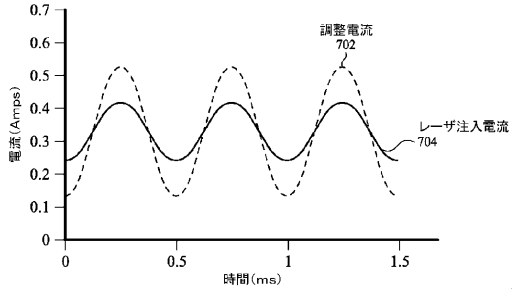
【図 6】



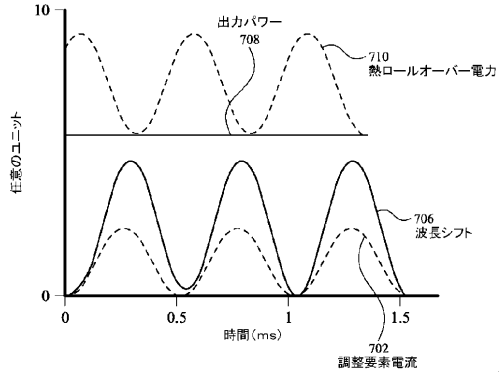
【図 7 A】



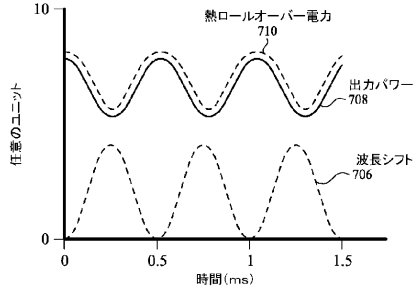
【図 7 B】



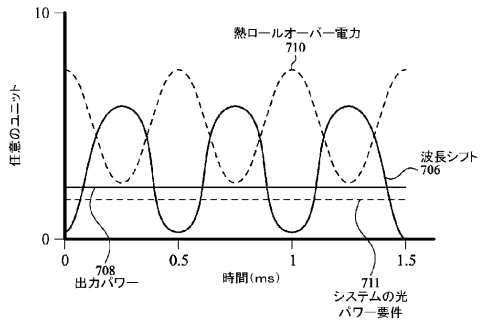
【図 7 C】



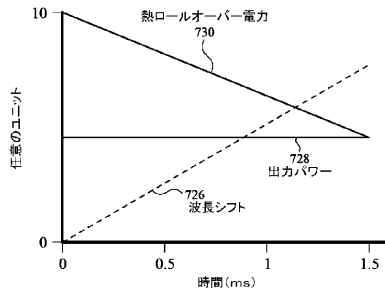
【図 7 D】



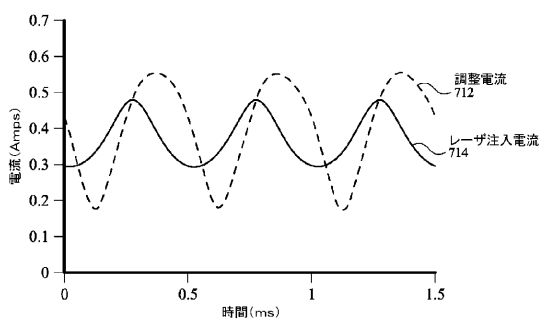
【図 7 E】



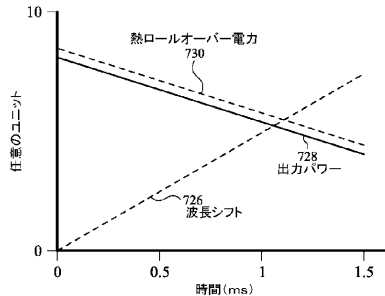
【図 7 G】



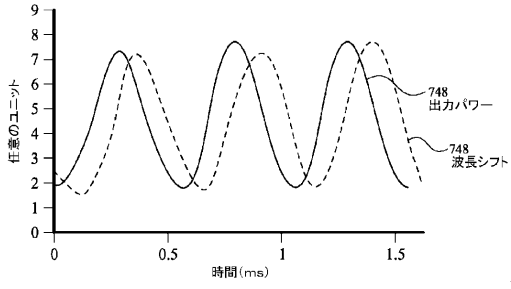
【図 7 F】



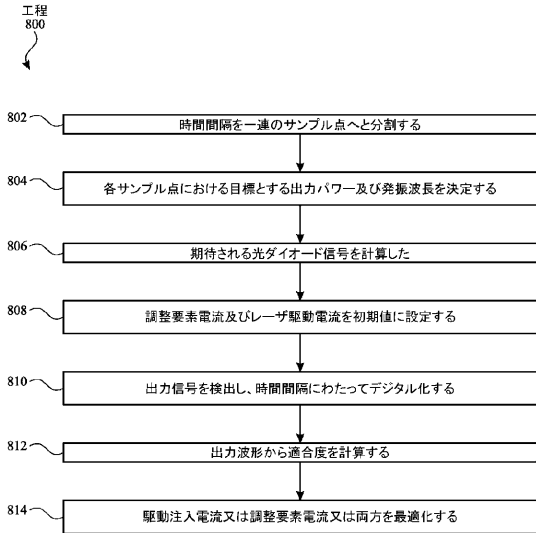
【図 7 H】



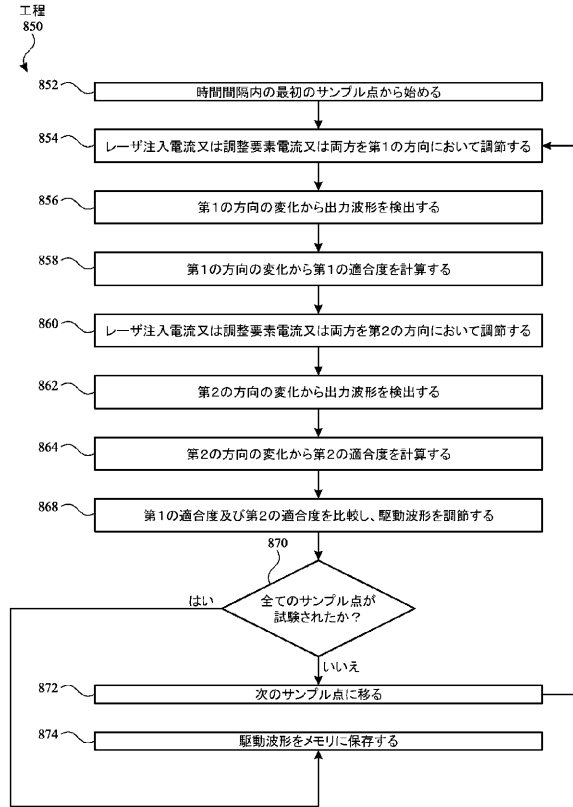
【図7I】



【図8A】



【図8B】



フロントページの続き

- (74)代理人 100067013
弁理士 大塚 文昭
- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100122563
弁理士 越柴 絵里
- (72)発明者 オデ ロス エム
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 ア
ップル インコーポレイテッド内
- (72)発明者 アルボレ マーク アラン
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 ア
ップル インコーポレイテッド内
- (72)発明者 ビスムト アルフレド
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 ア
ップル インコーポレイテッド内
- (72)発明者 ビドー イヴ
スイス 2000 ヌシャテル リュー ド レクリューズ 36アー
- (72)発明者 ミュラー アントワーヌ ジャン アンドレ
スイス 2000 ヌシャテル リュー ド シャンプレヴェル 2

審査官 島田 英昭

- (56)参考文献 特表2010-503987(JP,A)
特開平04-116878(JP,A)
米国特許出願公開第2006/0088068(US,A1)
特開2005-175021(JP,A)
米国特許第06690693(US,B1)
米国特許出願公開第2013/0156052(US,A1)
特開2015-115411(JP,A)
特開平09-232662(JP,A)
特開平11-195843(JP,A)
特開平08-111567(JP,A)
特開2002-164615(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L33/00-33/64
H01S 5/00-5/50