

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-505496
(P2007-505496A)

(43) 公表日 平成19年3月8日(2007.3.8)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
HO 1 S 3/137 (2006.01) HO 1 S 3/137 5 F 1 7 2

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2006-526192 (P2006-526192)
(86) (22) 出願日 平成16年9月3日(2004.9.3)
(85) 翻訳文提出日 平成18年3月27日(2006.3.27)
(86) 国際出願番号 PCT/US2004/028730
(87) 国際公開番号 W02005/027286
(87) 国際公開日 平成17年3月24日(2005.3.24)
(31) 優先権主張番号 10/659,958
(32) 優先日 平成15年9月10日(2003.9.10)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

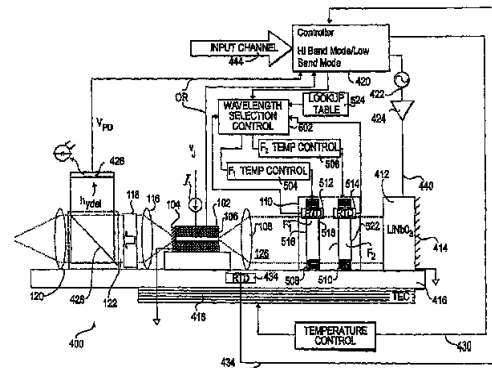
(71) 出願人 591003943
インテル・コーポレーション
アメリカ合衆国 95052 カリフォル
ニア州・サンタクララ・ミッション カレ
ッジ プーレバード・2200
(74) 代理人 100104156
弁理士 龍華 明裕
(72) 発明者 バトラ、ラジュッシュ
アメリカ合衆国、94303 パロアルト
、ナンバー 6、ニューウェル ロード
15
(72) 発明者 ダイバー、アンドリュウ
アメリカ合衆国、94062 カリフォル
ニア州、エメラルド ヒルズ、レイクビュ
ウ ウェイ 425

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 チューナブルレーザのための透過ピークにロックするための探索及び追従制御

(57) 【要約】

波長ロックを実行するためのサーボ又は制御技法及び装置が、位相偏移変調方式を用いて、レーザ共振器内の1つ又は複数の光学素子(F1、F2)を調整して、レーザ発振周波数を所望のチャンネル周波数にロックする。コントローラ(420)が、ハイバンド幅モード及びローバンド幅モードを含む。最初に新たなチャンネルにロックするとき、ハイバンド幅コントローラモードを用いて、より多くのエネルギーを供給してアクチュエータを駆動し、より高速の探索を達成することができる。誤差信号がゼロ誤差の所定の閾値内に接近するとき、コントローラはローバンド幅モードに切り替わり、アクチュエータに低い電力を供給し、ターゲット周波数に緩やかに接近し、オーバーシュートを回避することができる。ローバンド幅コントローラモードは雑音レベルを低くしておくことができ、チューナブルレーザに対して、より良好な追従安定性を与えることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

チューナブルレーザであって、
チューナブルレーザのチューニング素子を駆動するためのアクチュエータと、
ハイバンド幅モード及びローバンド幅モードを含む多帯域幅モードコントローラとを備え、

前記コントローラは最初に、前記ハイバンド幅モードにおいて前記アクチュエータを駆動し、ターゲット周波数に関する誤差信号が閾値範囲内に入るときに、前記ローバンド幅モードに切り替わる、チューナブルレーザ。

【請求項 2】

前記チューニング素子は熱電冷却器 (TEC) を含む、請求項 1 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 3】

前記チューニング素子はエタロン及びフィルタのうちの 1 つを含む、請求項 1 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 4】

前記ハイバンド幅モードは第 1 の電力レベルで前記アクチュエータを駆動し、前記ローバンド幅モードは第 2 の電力レベルで前記アクチュエータを駆動し、前記第 1 の電力レベルは前記第 2 の電力レベルよりも大きい、請求項 1 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 5】

前記第 1 の電力レベルは高い電力を含み、前記第 2 の電力レベルは低い電力を含み、請求項 4 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 6】

前記誤差信号は、光路長変調素子に対するディザ信号から導出される、請求項 4 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 7】

前記光路長変調素子は、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) 位相変調器を含む、請求項 6 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 8】

前記ハイバンド幅モードの前記コントローラはバンバンコントローラ又は開ループコントローラを含む、請求項 1 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 9】

前記コントローラは、リード/ラグコントローラ及び比例積分微分 (PID) コントローラのうちの 1 つを含む、請求項 1 に記載のチューナブルレーザ。

【請求項 10】

レーザをチューニングする方法であって、

前記レーザの共振器長をディザリングすることであって、それによってターゲット周波数を得るための透過ピーク誤差信号を生成する、ディザリングすること、

アクチュエータを第 1 の電力レベルにおいて駆動することであって、それによって前記誤差信号をゼロに向かって動かす、駆動すること、及び

前記誤差信号が概ねゼロの閾値範囲内に入るときに、前記アクチュエータを、前記第 1 の電力レベルよりも低い第 2 の電力レベルにおいて駆動することを含む、レーザをチューニングする方法。

【請求項 11】

前記ディザリングすることは、位相変調器に電圧信号を供給することであって、それによって前記レーザの共振器長を変調する、供給することを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記電圧信号は、一定の周波数の概ね正弦波の信号を含む、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

前記アクチュエータを駆動することは、熱電冷却器（TEC）の温度を変更することを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項14】

前記アクチュエータを駆動することは、エタロン又はフィルタのうちの1つをチューニングすることを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項15】

システムであって、

外部共振器ダイオードレーザ（ECDL）と、

前記ECDLのチューニング素子を駆動するためのアクチュエータと、

新たなターゲット周波数を探索するためのハイバンド幅モードと、該ターゲット周波数に追従するためのローバンド幅モードとを含む多帯域幅モードコントローラとを備え、

前記コントローラは最初に、前記ハイバンド幅モードにおいて前記アクチュエータを駆動し、その後、ターゲット周波数に関する誤差信号が閾値範囲内に入るときに、前記ローバンド幅モードにおいて駆動する、システム。

【請求項16】

前記チューニング素子は熱電冷却器（TEC）を含む、請求項15に記載のシステム。

【請求項17】

前記チューニング素子はエタロン及びフィルタのうちの1つを含む、請求項15に記載のシステム。

【請求項18】

前記ハイバンド幅モードは第1の電力レベルで前記アクチュエータを駆動し、前記ローバンド幅モードは第2の電力レベルで前記アクチュエータを駆動し、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも大きい、請求項15に記載のシステム。

【請求項19】

前記第1の電力レベルは高い電力を含み、前記第2の電力レベルは低い電力を含む、請求項18に記載のシステム。

【請求項20】

前記誤差信号は、光路長変調素子に対するディザ信号から導出される、請求項15に記載のシステム。

【請求項21】

前記光路長変調素子は、ニオブ酸リチウム（LiNbO₃）位相変調器を含む、請求項20に記載のシステム。

【請求項22】

前記コントローラはバンバンコントローラ又は前記ハイバンド幅モードの他の開ループコントローラを含む、請求項15に記載のシステム。

【請求項23】

前記コントローラは、リード/ラグコントローラ及び比例積分微分（PID）コントローラのうちの1つを含む、請求項15に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一実施形態はレーザに関し、より詳細にはチューナブルレーザに関する。

【背景技術】

【0002】

波長分割多重（WDM）は同じ光ファイバ上で複数のデータチャネルを同時に送信するべく用いられる技法である。送信機端では、チャネル毎に異なる波長（色）を有する光を用いて、種々のデータチャネルが変調される。このようにして、そのファイバは、複数のチャネルを同時に搬送することができる。受信端では、復調する前に、適当な波長フィルタリング技法を用いて、これらの多重化されたチャネルを容易に分離することができる。

【0003】

10

20

30

40

50

1本のファイバ上でより多くのデータ量を伝送する必要があることから、いわゆる高密度波長分割多重(DWDM)が開発された。DWDMは、所与の帯域幅空間内に、さらに多くのチャンネルを収容することを含む。結果として、DWDMシステムでは隣接チャンネル間隔が狭くなるので、送信側のレーザダイオードからの高い波長精度が要求される。

【0004】

チューナブルレーザは、光ネットワークの応用形態において用いるためのフレキシブルで費用対効果の高いオプションを提供する。ただ1つのチューナブルレーザを、DWDMリンク内の数百個の固定波長レーザのどのレーザの代わりにも用いることができるので、コストを削減できる見込みが大きくなる。チューナブルレーザはさらに、アレイ内のレーザ間の波長分離を正確に制御できるようにする。レーザ発振周波数をチューニングする能力は製造公差も緩和し、さらに、周囲温度の変化及び経年変化の影響に起因するドリフトを補償するようにチューニングすることができる、環境の変化に強い(robust)レーザ部品を製造することにも寄与する。チューナブルレーザはさらに、柔軟にネットワークを管理できるようにするという利点及び構成を変更しやすくするという利点も提供する。これは、帯域幅を、より効率的に利用できるようにし、それにより新たな顧客へのサービスにも容易に対応できるようにする。

10

【0005】

試験及び測定用、光学部品の波長特性の判定、光ファイバネットワーク及び他の応用形態を目的として、チューナブルレーザの需要は増え続けている。高密度波長分割多重(DWDM)光ファイバシステムでは、複数の個別のデータストリームが一本の光ファイバ内を同時に伝搬し、各データストリームは特定のチャンネル周波数又は波長のレーザの変調出力によって生成される。現時点では、約0.4ナノメートルの波長、すなわち約50GHzのチャンネル分離を達成することができ、その場合に、現時点で入手することができるファイバ及びファイバ増幅器の帯域幅の範囲内で、一本のファイバによって128チャンネルまでを搬送することができる。帯域幅要件が広がる結果として、将来にはおそらく、さらにチャンネル分離は小さくなるであろう。

20

【0006】

DWDMシステムは主として、フィードバック制御ループにおいて、関連する基準エタロンとともに動作する分布帰還型(DFB)レーザに基づいており、基準エタロンは、国際電気通信連合(ITU)波長グリッドを画定する。個々のDFBレーザの製造に関連する統計的なばらつきの結果として、チャンネルの中心波長が波長グリッドにわたって分布するようになり、それゆえ、個々のDFB送信機は、単一のチャンネル、又は少ない数の隣接チャンネルの場合にのみ使用することができる。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

個々のDFBデバイスの制約を克服するべく、連続的にチューニング可能な外部共振器レーザが開発されている。透過及び反射において用いられる機械的にチューニングされる回折格子のような、外部共振器波長選択を提供するための種々のレーザチューニング機構が開発されている。外部共振器レーザは、共振器の利得帯域幅内にある外部共振器モードに関連するレーザ発振を効率的に抑圧しながら、選択可能な波長において安定した単一モード出力を与えることができるはずである。これらの目標は達成するのが難しく、したがって、選択可能な波長において安定した単一モード動作を提供する外部共振器レーザが必要とされている。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の上記の態様及びその結果として伴う利点の多くは、以下に記載される詳細な説明を参照することにより、添付の図面とともに解釈するとき、より容易に理解されるとともに、よりよく認識されるようになるであろう。なお、他に指示されない限り、種々の図面を通して、同様の参照番号は同様の部品を指している。

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

チャンネル変更中に外部共振器ダイオードレーザ（ECDL）の共振器長をロックする波長ロックを実行するためのサーボ又は制御技法及び装置の実施形態が開示される。以下の説明では、本発明の実施形態を完全に理解してもらうべく、数多くの具体的な詳細が述べられる。しかしながら、その具体的な詳細のうちの一つ又は複数を用いることなく、又は他の方法、構成要素、材料等を用いて本発明を実施できることは、当業者には理解されよう。他の事例では、本発明の態様をわかりにくくするのを避けるべく、既知の構造、材料又は動作が詳細には図示又は説明されない。

【0010】

本明細書全体を通して、「一実施形態」又は「或る実施形態」を参照する場合、その実施形態に関連して説明される特定の特徴部、構造又は特性が本発明の少なくとも一つの実施形態に含まれることを意味する。したがって、本明細書全体にわたって、種々の場所において「一実施形態」又は「或る実施形態」という言い回しが現れても、必ずしも全て同じ実施形態を指しているとは限らない。さらに、特定の特徴部、構造又は特性は、一つ又は複数の実施形態において任意の適当な態様で組み合わせることができる。

【0011】

、以下に説明される本発明の態様を実施するべく用いることができるECDL100の汎用の一実施形態が図1に示される。ECDL100は、ダイオード利得チップ102を含む利得媒体を含む。ダイオード利得チップ102は、部分反射性の前面ファセット104と、その面における反射を最小限に抑えるべく反射防止（AR）コーティングを被着された概ね非反射性の背面ファセット106とを含むファブリペロダイオードレーザを備える。オプションでは、ダイオード利得チップ102は、非反射性の背面ファセット106を実現するべく、利得媒体上に曲がった導波管構造を含むことができる。外部共振器素子は、ダイオード共振器内コリメーティングレンズ108と、チューニングフィルタ素子110と、共振器長変調素子112と、反射素子114とを含む。一般に、反射素子114は、ミラー、回折格子、プリズム若しくは他の反射体、又は素子110の代わりにチューニングフィルタ機能も提供することができる再帰反射体を含むことができる。出力側構成要素は、ダイオード出力コリメーティングレンズ116と、光アイソレータ118と、出力光ビーム122が出力ファイバ124内に放射されるように集束するファイバ集束レン

【0012】

ECDL100の基本動作は以下の通りである。ダイオード利得チップ102（利得媒体）に、制御可能な電流Iが供給され、結果として、ダイオード接合部の両端に電圧差が生成され、光エネルギー（光子）の放射が生成される。放射された光子は、合わせてレーザ共振器端を画定する、部分反射性の前面ファセット104及び反射素子114との間を行き来する。光子が行き来するとき、複数の共振、すなわち「レーザ発振」モードが生成される。一つのリレーザ発振モードのもとで、光エネルギー（光子）の一部が、外部レーザ共振器を一時的に占有し、それが共振器内光ビーム126によって表される。同時に、外部レーザ共振器内の光子の一部が最終的には、部分反射性の前面ファセット104を通り抜ける。

【0013】

部分反射性の前面ファセット104を通してレーザ共振器を出る光子を含む光は、ダイオード出力コリメーティングレンズ116を通過し、その光はコリメートされて、出力ビーム122になる。その後、出力ビームは光アイソレータ118を通過する。光アイソレータは、後方反射された光が外部レーザ共振器の中に戻されるのを防ぐべく用いられ、それは一般的にはオプションの素子である。光ビームは、光アイソレータを通過した後に、ファイバ集束レンズ120によって、出力ファイバ124内に放射される。一般的に、出力ファイバ124は、偏光保持タイプ又はSMF28のようなシングルモードタイプを含むことができる。

10

20

30

40

50

【0014】

入力電流を適当に変調することによって（一般的に2.5GHzまでの通信速度の場合）、又は出力ビームの光路内に配置される外部素子の変調（図示せず）によって（10GHz及び40GHz通信速度の場合）、出力ビームにおいてデータが変調され、光データ信号を生成することができる。そのような信号をファイバ内に放射し、光通信の技術分野においてよく知られている手法に従って、ファイバ系ネットワーク上で伝送することができる。それにより、非常にハイバンドの通信能力を与えることができる。

【0015】

ECDLのレーザ発振モードは、共振器端部間の全光路長（共振器光路長）、すなわち、光が種々の光学素子の中と、それらの光学素子と、部分反射性の前面ファセット104及び反射素子114によって画定されるような共振器端との間の空間とを進む間に通る光路長の関数である。これは、ダイオード利得チップ102、ダイオード共振器内コリメーティングレンズ108、チューニングフィルタ素子110及び共振器長変調素子112と、光学素子間の光路長（すなわち、典型的には空気のような気体であるECDL共振器を占有する伝送媒体の光路長）とを含む。より正確に言うと、全光路長は、各光学素子の光路長にその素子の屈折率を掛けたものと、伝送媒体の光路長にその媒体の屈折率を掛けたものとの和である。

10

【0016】

先に説明されたように、1つのレーザ発振モードのもとで、光子が共振器端の反射体間を共振周波数で行き来し、その周波数は共振器光路長の関数である。実際には、チューニングフィルタ素子を用いない場合、レーザは複数の周波数において共振するであろう。簡単にすべく、外部レーザをファブリペロ共振器としてモデル化する場合には、これらの周波数は、以下の式から決定することができる。

20

$$c l = x / 2 n \quad (1)$$

【0017】

ただし、 λ = 波長、 $c l$ = 共振器の長さ、 x = 任意の整数（1, 2, 3, ...）及び n = 媒体の屈折率である。共振周波数の数は、利得スペクトルの幅から決定される。さらに、利得スペクトルは一般に、中央にピークを有する放物線として具現される。それゆえ、中心波長の両側におけるレーザ発振モード（一般的にサイドモードと呼ばれる）の強度は急激に降下する。

30

【0018】

以下にさらに詳細に説明されるように、レーザを「チューニングして」、所望の通信チャネルに対応する周波数において光出力信号を生成すべく、種々の技法を適用することができる。たとえば、これは、チューニングフィルタ素子110のような1つ又は複数のチューニング素子を調整し、共振器光路長内に対応する変化を引き起こし、それによりレーザ発振モード周波数を変更することによって達成することができる。チューニングフィルタ素子は、出力ビームが狭い帯域幅を有する概ねコヒーレントな光を含むように、不要なレーザ発振モードを減衰させる。

【0019】

理想的には、ECDLが設計された種々のチャネル周波数に対応する周波数範囲にわたって出力ビームの電力を最大することが望ましい。1つの明白な解決手法は、単に、より大きな駆動電流を供給することであるかもしれないが、駆動電流の変化がダイオード利得チップの光学特性（たとえば光路長）を変更するので、これだけではうまくいかない。さらに、多くのダイオード利得チップは、限られた範囲の入力電流においてのみ動作する。

40

【0020】

本発明の態様によれば、最大の電力出力を生成するための1つの技法は、位相制御変調によって、「波長ロック」を実行することである。この技法のもとで、「ディザ」又は変調信号を供給して、レーザ共振器の光路長内に対応する変調を引き起こす。これは、変調された位相シフト作用を生み出し、結果として、レーザ発振モードの小さな周波数変調が生成される。この周波数変調の結果として、出力ビームの強度（電力）の対応する変調が

50

引き起こされ、これは振幅変調とも呼ばれる。この振幅変調は、種々の技法によって検出することができる。一実施形態では、レーザダイオードに一定の電流を供給しながら、レーザダイオード接合部電圧（レーザダイオードチップ102の両端の電圧差）がモニタされ、その電圧は出力ビームの強度に反比例し、たとえばダイオード接合部において測定された最小電圧は最大出力強度に対応する。別の実施形態では、ビームスプリッタを用いて、出力ビームの一部を分離し、分離された部分の強度をフォトダイオードのような光電子デバイスによって測定できるようにする。フォトダイオードによって測定された強度は、出力ビームの強度に比例する。その後、測定された振幅変調を用いて、復調された誤差信号を生成することができ、その信号をサーボ制御ループに戻して、最大強度を生成するようにレーザの（概ね）連続的な光路長が調整される。

10

【0021】

上記の方式が図2に概略的に示される。その図は、電力出力曲線（PO）を示しており、レーザ発振モードが、チャンネル周波数中心線200によって指示される所望のチャンネルの近くにあるときに、結果として生成される典型的な電力出力曲線を例示する。位相偏移変調方式を用いるサーボループの目的は、レーザ発振周波数が所望のチャンネル周波数に向かってシフトするように、レーザ共振器内の1つ又は複数の光学素子を調整することである。これは、レーザ発振モードの周波数変調から生じる復調された誤差信号を用いることにより達成される。その技法のもとで、光路長変調素子112のような、共振器内の光学素子に変調信号が供給され、共振器の光路長が変調される。この変調は、レーザのためのチャンネル間隔と比べて相対的に小さい。たとえば、一実施形態では、チャンネル間隔は50

20

【0022】

変調された信号202A、202B及び202Cはそれぞれ、（平均）レーザ周波数204A、204B及び204Cに対応する。レーザ周波数204Aは所望のチャンネル周波数よりも小さく、レーザ周波数204Cは所望のチャンネル周波数よりも大きく、一方、204Bは概ね所望のチャンネル周波数である。変調された各信号は、出力ビームの強度内にそれぞれの変調を引き起こす。これらの強度変調はそれぞれ、変調された振幅波形206A、206B及び206Cとして示される。一般的に、強度変調は、出力ビームの強度を決定するべく先に説明されたようにして測定することができる。

【0023】

図2に示されるように、波形206A、206B及び206Cの山から谷までの振幅は、変調された信号202Aのための交差点208及び210によって示されるような、対応する周波数変調された信号202A、202B及び202Cのための変調の最大偏移が電力出力曲線POと交差する点に直結する。したがって、レーザ周波数が所望のチャンネル周波数に接近していくとき、出力ビームの測定された強度の山から谷までの振幅は減少する。レーザ周波数及びチャンネル周波数が一致する点では、この値は最小になる。

30

【0024】

さらに、図3に示されるように、共振器長誤差は以下の式から導出することができる。

【0025】

【数1】

$$\text{Error} = \int_{t_1}^{t_2} E R e^{i\phi(\omega)} dt \approx \sum_{i=1}^n E_i R_i e^{i\phi(\omega)} \quad (2)$$

40

【0026】

50

ただし、イタリック体でない i は虚数であり、 ω は励起入力（すなわち、変調された信号 202A、202B 及び 202C）と、振幅変調された出力波形 206A、206B 及び 206C を含む応答出力との間の位相差を表し、 f_m は変調周波数である。時間サンプリング位置 300 によって示されるような、以下に説明されるタイプのデジタルサーボループに特有の離散時間サンプリング方式によって、積分解を正確に近似することができる。

【0027】

誤差振幅を与えることに加えて、上記の方式は誤差方向も与える。たとえば、レーザ周波数が、所望のチャンネル周波数の一方の側（図示される例では下側）にずれているとき、励起及び応答波形は概ね同相になるであろう。これは、正の総計誤差値（aggregated error value）を生成することになる。対照的に、レーザ周波数が、所望のチャンネル周波数の他方の側（その例では上側）にあるとき、励起及び応答波形は大きく位相がずれるであろう。結果として、総計誤差値は負になるであろう。

10

【0028】

一般的に、変調の波長ロック周波数 f_{lock} は、レーザ周波数よりも数桁低くなるように選択されるべきである。たとえば、一実施形態では、185 ~ 199 THz のレーザ周波数の場合、500 Hz ~ 100 kHz の範囲内の変調周波数を用いることができる。

【0029】

図 4 には、利得ダイオードチップ 102、レンズ 108、116 及び 120 等の、同じ参照番号を有する、ECDL 100 に共通する種々の素子を含む ECDL 400 が示される。チャンネル選択サブシステムが、波長選択制御ブロック 502 を含むことができる。波長選択制御ブロックはコントローラ 420 の外部に示されるが、このブロックの制御の様子はコントローラ 420 だけでも提供できることに留意されたい。波長選択制御ブロック 502 は、フィルタ F1 及び F2 の温度をそれぞれ制御するための電気的出力 504 及び 506 を与える。一実施形態では、温度制御素子は、TEC 508 及び 510 によって示されるように、円形のエタロンの外周の周囲に配置される。エタロン温度を制御するべく、フィルタの内部に埋め込まれるヒータを用いることもできる。個々の RTD 512 及び 514 を用いて、波長選択制御ブロック 502 に温度フィードバック信号が戻される。

20

【0030】

一般的に、レーザ共振器においてエタロンを用いて、フィルタリング機能が提供される。それらのエタロンはファブリペロ共振器として機能する。エタロンの中に光ビームを通す結果として、レーザ出力内に 1 組の透過ピーク（通過帯域とも呼ばれる）が生成される。透過ピークの間隔（周波数間隔であり、自由スペクトル領域としても知られている）は、エタロンの 2 つの面間、たとえば、フィルタ F1 の場合の面 516 と 518 との間、及びフィルタ F2 の場合の面 520 と 522 との間の距離に依存する。エタロンの温度が変化すると、エタロン材料が膨張又は収縮するようになり、それゆえ、それらの面間の距離が変化する。これは、エタロンの光路長を実効的に変更し、それを用いて、透過ピークをシフトすることができる。

30

【0031】

フィルタの効果は累積的である。結果として、選択されたチャンネルのレーザ発振モードを除く全てのレーザ発振モードを、各フィルタの単一の透過ピークの位置に合わせることで大きく減衰させることができる。一実施形態では、2 エタロンの構成は、エタロンの個々の自由スペクトル領域がわずかに異なるように選択される。これにより、透過ピークが、バーニア目盛によって用いられるのと同じようなバーニアチューニング技法によって位置合わせされるようになる。一実施形態では、「グリッドジェネレータ」として知られている、フィルタのうちの 1 つは、ITU 波長グリッドのような通信チャンネルグリッドに対応する自由スペクトル領域を有するように構成され、それらのピークは ITU チャンネル周波数に位置合わせされる。この波長グリッドは、対応するグリッドジェネレータエタロンの温度を所定の温度に保持することにより、概ね固定されたままになる。同時に、チャンネルセレクタとして知られている他方のエタロンの温度は、グリッドジェネレータの

40

50

ピークに対して、その透過ピークをシフトするように調整される。このようにして、フィルタの透過ピークをシフトすることにより、チャンネル周波数に対応する透過ピークを位置合わせすることができ、それにより、選択されたチャンネル周波数に対応する共振器レーザ発振モードを生成することができる。別の実施形態では、両方のフィルタの透過ピークをシフトして、チャンネルを選択することができる。

【0032】

一般的に、これらの方式のいずれも、参照テーブル524によって示されるような、対応するチャンネルのためのエタロン温度が記憶されるチャンネル-エタロンフィルタ温度参照テーブルを用いることにより実施することができる。典型的には、参照テーブル内のエタロン温度/チャンネル値は、較正手順によって求めることができるか、統計データによって求めることができるか、又はチューニングデータに適合するチューニング関数に基づいて計算することができる。入力チャンネル選択444に応答して、対応するエタロン温度が参照テーブル524から検索され、当該技術分野においてよく知られている適当な温度制御ループを用いるエタロンのためのターゲット温度として用いられる。

10

【0033】

ECDL400はさらに、反射性背面414を有する共振器光路長変調素子412を含むことができる。より具体的には、共振器光路長変調素子は、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)位相変調器を含み、その変調器に背面鏡が結合される。オプションでは、反射材料を位相変調器の背面にコーティングすることができる。ニオブ酸リチウムは、電圧が印加されるときに、その屈折率(材料内の光の速さを真空中の光の速さで割った比)を変更する材料である。結果として、LiNbO₃位相変調器に対して、変調された電圧信号を供給することにより、外部レーザ共振器の光路長を変調又は「ディザリング」することができ、それにより、先に説明された信号202A、202B及び202Cのような周波数変調された信号を生成することができる。

20

【0034】

ECDL400の種々の光学部品は、熱制御可能な台又は「そり」416に実装又はそれ以外の方法で結合される。一実施形態では、ペルチエ素子のような、1つ又は複数の熱電冷却器(TEC)素子418が、入力電気信号を介してそりの温度を正確に制御できるように、そり416に取り付けられるか、又はそり416に組み込まれる。温度変化に応答する材料の膨張及び収縮によって、そりの長さは非常に正確に調整することができる。長さを調整する結果として、部分反射性の前面ファセット104と反射素子414との間の距離が変化するようになり、レーザ共振器の光路長の変化が生み出される。結果として、そりの温度を制御することにより、レーザ発振モードの周波数を調整することができる。一般的に、そりの温度制御は非常に細かいチューニング調整を目的として用いられ、一方、以下にさらに詳細に説明されるように、チューニングフィルタ素子110によって、それよりも粗いチューニング調整が行われるであろう。

30

【0035】

波長をロックするべく、コントローラ420が変調された、又は「ディザリングされた」波長ロック信号422を生成し、それが増幅器424によって増幅される。たとえば、一実施形態では、変調された波長ロック信号422は、周波数が約889Hzの2V_{p-p}信号のような、一定の周波数を有する正弦波を含むことができる。その後、増幅された変調波長ロック信号は、LiNbO₃位相変調器412の表面に供給され、一方、反対の表面は接地され、それによりLiNbO₃材料の両端に電圧差が与えられる。結果として、変調器の光路長、それゆえレーザ共振器全体が変調周波数(たとえば889Hz)で変調される。一実施形態では、2V_{p-p}電圧差の結果として、約4MHzの周波数偏位が生成される。

40

【0036】

この光路長変調は、出力ビーム122の強度の変調を引き起こし、一実施形態では、その変調は光検出器426によって検出される。図4に示されるように、ビームスプリッタ428が出力ビーム122の光路内に配置され、出力ビーム光の一部が光検出器426に

50

向かって誘導されるようにする。一実施形態では、光検出器 426 はフォトダイオードを含み、それは受光する光の強度 ($h \nu d e t$) に応答して電圧変化を生み出す。その後、対応する電圧 V_{PD} がコントローラ 420 にフィードバックされる。オプションの一実施形態では、 V_{PD} ではなく、利得ダイオードチップにかかる接合部電圧 (V_J) が強度フィードバック信号として用いられる。その後、図 3 を参照して先に説明されたような共振器長誤差信号が、変調された波長ロック信号 422 とともに、 V_{PD} 又は V_J の振幅変調及び位相に基づいて導出される。

【0037】

コントローラ 420 は、図 2 及び図 3 を参照して先に説明された周波数変調方式に従って、そり 416 の温度を調整するように構成され、共振器長誤差信号が最小限に抑えられるようにするデジタルサーボループを含む。誤差信号に応答して、温度制御信号 430 の適当な調整値が生成される。そり温度を調整するのに応じて、共振器長全体の変化、それゆえレーザ発振周波数の変化が生じる。この結果としてさらに (理想的には)、レーザ発振周波数と所望のチャンネル周波数との間の差が減少し、それにより制御ループが完成する。初期状態に達するべく、又はそり温度を制御するべく、抵抗性の熱デバイス (RTD) 434、すなわちサーミスタ又は熱電対を用いて、コントローラ 420 に温度フィードバック信号 434 を与えることができる。

【0038】

チューナブルレーザをターゲット周波数 (すなわち、新たなチャンネル) にチューニングするとき、その動作に対して、チューニング速度及び周波数安定性の両方が非常に重要である。本発明の実施形態は、速度及び周波数安定性の両方を改善するための解決手段を提供する。

【0039】

ECDL 400 を新たな周波数 (チャンネル) に最初にチューニングするとき、共振器長は、図 2 に示されるように、丘 (P_0) のいずれかの側にあり、透過曲線のピークに到達するべく動かされる。一実施形態によれば、コントローラ 420 は、ハイバンド幅モード及びローバンド幅モードを含む。この最初の時間では、ハイバンド幅コントローラモードを用いて、そり TEC 418 のようなアクチュエータに、より多くのエネルギーを供給し、より速い速度の探索を達成することができる。共振器長誤差信号が所定の閾値内に接近するとき、コントローラをローバンド幅コントローラモードに切り替えて、ターゲット (透過曲線のピーク) に接近し、そのピークにおいてロックを保持することができる。この追従モードでは、ローバンド幅コントローラは、雑音レベルを低くしておくことができ、チューナブルレーザに、より良好な周波数安定性を与える。

【0040】

可変帯域幅コントローラを用いることによって得られる改善が、図 5 及び図 6 に示される時間応答の図を比較することにより例示される。図 5 は、共振器ロック過程のトレースの一例であり、単一の帯域幅コントローラが用いられる場合を例示する。図 5 の上側のグラフは、共振器ロック過程の時間に対して誤差信号 612 をプロットする。誤差信号のゼロ点は、透過曲線のピークに対応する。図 5 の下側のグラフは、チューナブルレーザの共振器長を制御する TEC 418 の温度を示す。図に示されるように、単一の帯域幅モードコントローラを用いるときでも、最終的にはターゲットに到達して、その誤差信号が概ねゼロ付近に保持される。この例では、サーボ制御によってターゲットに達するのに約 3 秒かかる。

【0041】

図 6 は、可変帯域幅コントローラが用いられる場合を示しており、本発明の実施形態による共振器ロック過程のトレースを示す。探索段階では、コントローラ 420 のハイバンド幅モードによって、そり TEC 418 の温度が、極めて急速に上昇できるようになる。しかしながら、一部を取り出した図 80 に示されるように、誤差信号がゼロに接近するとき、コントローラ 420 が、ローバンド幅フィルタ又はモードを用いる追従モードに切り替わり、誤差信号が緩やかにゼロに接近し、ターゲット周波数のオーバーシュートが避け

10

20

30

40

50

られるようにする。さらに、追従モードにおいてローバンド幅コントローラを用いるとき、定常状態では、チューナブルレーザの周波数安定性が改善され、誤差信号が概ね0に保持される。この例では、コントローラ420は、誤差信号の絶対値が0.03よりも大きいときに探索モードにあり、誤差信号が±0.03の閾値範囲内にあるときに追従モードに切り替わる。当然、これは単なる一例であり、その範囲は、レーザの応用形態及び動作の許容範囲によって広くも狭くもすることができる。多モードコントローラ420は、リード/ラグコントローラ又はPID(比例積分微分)コントローラのようないくつかのコントローラ方式のうちの任意のものによって実現することができる。探索モードでは、パンパン又は類似の開ループコントローラを用いることもできる。探索モードでは、ハイバンド幅モードのコントローラ420が、より大きな電力を用いて、TEC418を駆動することができる。たとえば、その駆動電力は約2又は3ワットにすることができるのに対して、追従モードでは、ローバンド幅モードのコントローラが、電力を削減して、たとえば約0.1~0.2ワットでTEC418を駆動することができる。

10

【0042】

図6に示されるように、2モードコントローラを用いるとき、図5と同じチューナブルレーザを同じ周波数にロックするのに、約1.7秒しかかからない。こうして、2モードコントローラを用いることにより、チューナブルレーザの速度と周波数安定性との間で妥協を図る必要はない。それゆえ、探索用サーボ及び追従用サーボがいずれも同時に最適化され、チューナブルレーザの性能を大幅に改善することができる。

【0043】

チューナブルレーザの共振器ロックサーボに関する実施形態が説明されてきたが、説明された技法は、チューナブルフィルタのエタロン(図4のF1及びF2)の温度制御においても用いることができる。チューナブルレーザ内のエタロンの温度制御を用いて、透過曲線が所望の周波数に動かされる。この技法は、異なるタイプのアクチュエータを用いて要求される周波数にチューニングする、全ての他のタイプのチューナブルレーザにも適用することができる。

20

【0044】

要約書に記載される内容を含む、本発明の例示される実施形態の上記の説明は、本発明を包括的に述べることに、又は本発明を開示されるのと全く同じ形態に限定することは意図していない。本発明の具体的な実施形態、及び本発明の実施例が、本明細書において説明されてきたが、本発明の範囲内で、種々の同等の変更が可能であることは、当業者には理解されよう。

30

【0045】

上記の詳細な説明を踏まえて、本発明に対して、これらの変更を行うことができる。添付の特許請求の範囲において用いられる用語は、本発明を明細書及び特許請求の範囲において開示される具体的な実施形態に限定するものと解釈されるべきではない。むしろ、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によって完全に決定されるべきであり、特許請求の範囲は、既に確立されている特許請求の範囲の解釈論に基づいて解釈されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0046】

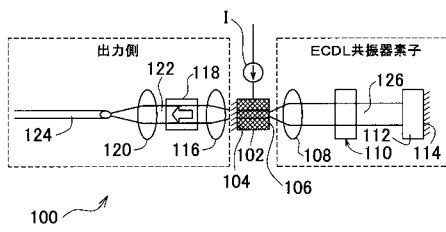
【図1】外部共振器ダイオードレーザ(ECDL)の汎用の一実施形態の概略図である。
【図2】ECDLレーザ共振器の光路長を変調することが、レーザ発振モードの周波数及びレーザの出力強度の変調に及ぼす影響を示す図である。
【図3】復調された誤差信号を計算するべく、変調された励起入力信号、及び結果として生成される応答出力信号を如何に組み合わせることができるかを示す図である。
【図4】ニオブ酸リチウムブロックが光路長調整素子として用いられる、本発明の一実施形態によるECDLの概略図である。
【図5】単一モード帯域幅コントローラを有するチューナブルレーザのための共振器ロック過程の時間応答の図である。
【図6】本発明の実施形態による多帯域幅モードコントローラを有するチューナブルレー

40

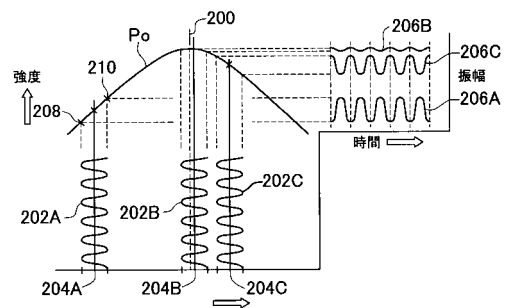
50

ザの共振器ロック過程の図である。

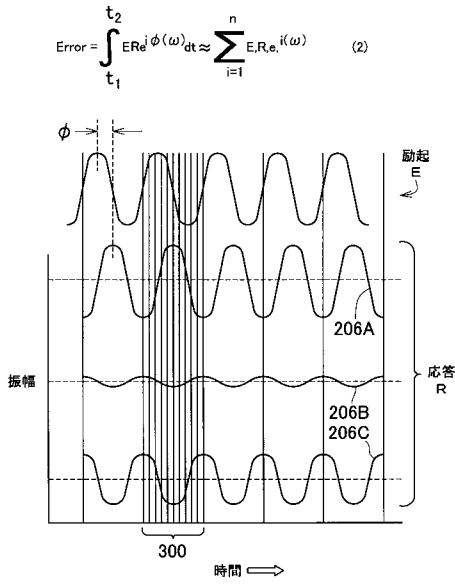
【 図 1 】



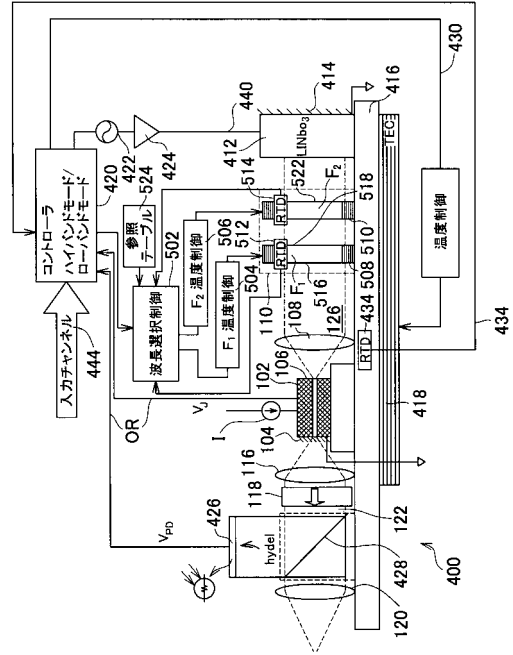
【 図 2 】



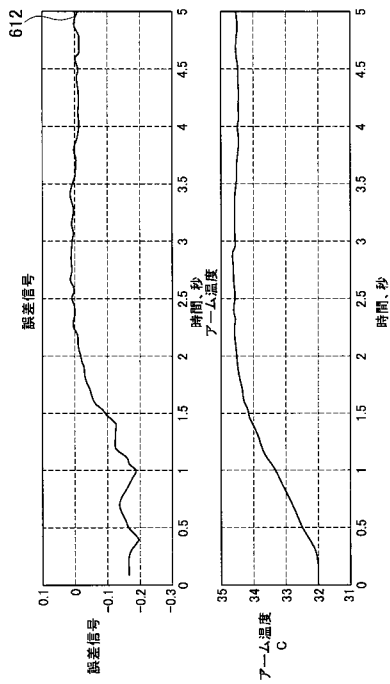
【 図 3 】



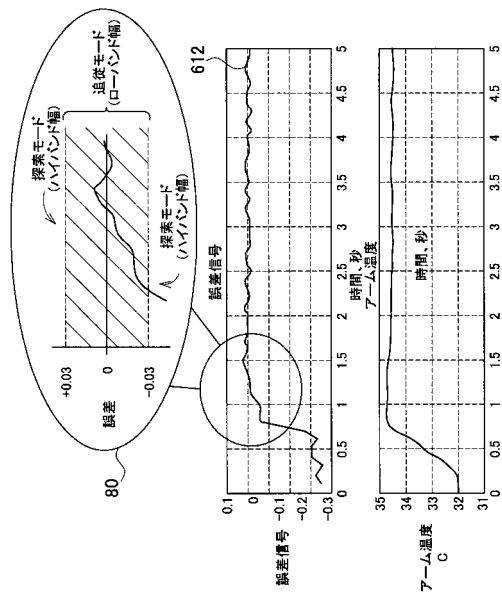
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		International Application No PCT/US2004/028730
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01S5/0687 H01S5/14 H04B10/155		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01S H04B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 222 861 B1 (GUPTA NIRAJ ET AL) 24 April 2001 (2001-04-24) abstract	1,8,9,15
Y	column 3, line 46 - column 4, line 43; figures 1,2	2,3,8,9, 16,17, 20-23
A	column 4, lines 32-43 column 7, lines 13-21 column 6, lines 38-51	4-7, 10-14, 18,19
Y	US 2003/142701 A1 (CARNEY ROBERT ET AL) 31 July 2003 (2003-07-31)	2,3,16, 17,20,21
A	paragraphs '0015! - '0027!, '0035! - '0038!; figure 1	6,7, 10-14
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents:		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
E earlier document but published on or after the international filing date		*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		*&* document member of the same patent family
P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 10 January 2005		Date of mailing of the international search report 01/02/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Marani, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US2004/028730

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2002/075918 A1 (CROWDER PAUL F) 20 June 2002 (2002-06-20) abstract	8,22
Y	US 2003/033819 A1 (PRESCOTT DANIEL C) 20 February 2003 (2003-02-20) abstract	9,23
A	US 2002/172239 A1 (CHAPMAN WILLIAM B ET AL) 21 November 2002 (2002-11-21) abstract; figure 1	1-3,10, 13-17
A	US 6 111 681 A (MIZRAHI VICTOR ET AL) 29 August 2000 (2000-08-29) abstract; figure 3	1,2,10, 13,15,16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No
 PCT/US2004/028730

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6222861	B1	24-04-2001	NONE
US 2003142701	A1	31-07-2003	US 2003007526 A1 09-01-2003 EP 1410476 A2 21-04-2004 WO 03005512 A2 16-01-2003 US 2003142700 A1 31-07-2003 US 2003142702 A1 31-07-2003 US 2003138003 A1 24-07-2003
US 2002075918	A1	20-06-2002	US 2002105990 A1 08-08-2002 US 2002105991 A1 08-08-2002 US 2002181521 A1 05-12-2002 US 6690693 B1 10-02-2004 WO 02093695 A2 21-11-2002 WO 02093701 A1 21-11-2002 AU 7307201 A 14-01-2002 AU 7307301 A 14-01-2002 WO 0203514 A2 10-01-2002 WO 0203515 A2 10-01-2002 AU 5950301 A 12-11-2001 CA 2405852 A1 08-11-2001 CN 1428018 T 02-07-2003 EP 1281221 A2 05-02-2003 JP 2003533037 T 05-11-2003 WO 0184682 A2 08-11-2001 AT 274760 T 15-09-2004 AU 6666301 A 17-12-2001 CA 2410964 A1 13-12-2001 CN 1432207 T 23-07-2003 DE 60105154 D1 30-09-2004 EP 1290765 A2 12-03-2003 JP 2003536264 T 02-12-2003 WO 0195444 A2 13-12-2001 US 2002061047 A1 23-05-2002
US 2003033819	A1	20-02-2003	NONE
US 2002172239	A1	21-11-2002	US 2003016707 A1 23-01-2003 US 2002126345 A1 12-09-2002 WO 02082599 A1 17-10-2002 AU 6502500 A 13-02-2001 EP 1214762 A1 19-06-2002 WO 0108277 A1 01-02-2001 US 6600760 B1 29-07-2003
US 6111681	A	29-08-2000	US 5673129 A 30-09-1997 AU 7373798 A 27-11-1998 CA 2309437 A1 12-11-1998 EP 1434368 A2 30-06-2004 EP 0993710 A1 19-04-2000 WO 9851024 A1 12-11-1998 US 6249365 B1 19-06-2001 US 6466346 B1 15-10-2002 US 6341025 B1 22-01-2002 US 5943152 A 24-08-1999

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 ロー、ジアン - チャン

アメリカ合衆国、 9 5 0 1 4 カリフォルニア州、クパチーノ、オレンジ ブロッサム ドライブ
7 5 9 9

(72) 発明者 ライス、マーク

アメリカ合衆国、 9 5 1 3 1 サンノゼ、オヤマ プレイス 1 5 1 4

Fターム(参考) 5F172 AE26 NN25 NP04 NQ24 NQ30