

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4370251号
(P4370251)

(45) 発行日 平成21年11月25日(2009.11.25)

(24) 登録日 平成21年9月4日(2009.9.4)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 S 3/10 (2006.01)	H O 1 S 3/10 Z
H O 1 S 3/094 (2006.01)	H O 1 S 3/094 S
H O 1 S 3/113 (2006.01)	H O 1 S 3/113

請求項の数 19 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-536054 (P2004-536054)	(73) 特許権者	504357761
(86) (22) 出願日	平成15年8月27日(2003.8.27)		エーエムオー ディベロップメント, エルエルシー
(65) 公表番号	特表2005-539380 (P2005-539380A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア 92618, アーバイン, ジェロニモ 9701
(43) 公表日	平成17年12月22日(2005.12.22)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/026705	(74) 代理人	100078282
(87) 国際公開番号	W02004/025792		弁理士 山本 秀策
(87) 国際公開日	平成16年3月25日(2004.3.25)	(74) 代理人	100062409
審査請求日	平成18年8月25日(2006.8.25)		弁理士 安村 高明
(31) 優先権主張番号	10/242, 828	(74) 代理人	100113413
(32) 優先日	平成14年9月13日(2002.9.13)		弁理士 森下 夏樹
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ホーバス, クリストファー
			アメリカ合衆国 カリフォルニア 92604, アーバイン, ナットウッド 5
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モードロック型レーザのオシレータ起動制御のための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

起動制御を有するオシレータであって、
レイジング媒体と、
該レイジング媒体からある経路に沿って配向されたレーザビームを誘導するレーザポンピングソースと、
該レーザビームをモニタリングするモードロック検出デバイスと、
該モードロック検出デバイスに接続された処理ユニットであって、該処理ユニットは、
該オシレータがモードロックされているか否かを示すモードロック状態を検出するように構成されている、処理ユニットと、
該処理ユニットおよびレーザポンピングソースに接続されたオーバードライブ回路であって、
該オーバードライブ回路は、該オシレータがモードロックされていないことを該処理ユニットが検出したことに応答して、オシレータのモードロックを開始するために該レーザポンピングソースに電流を提供するように構成されている、オーバードライブ回路と

を備える、起動制御を有するオシレータ。

【請求項 2】

前記モードロック検出デバイスは、フォトディテクタである、請求項 1 に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項 3】

10

20

前記フォトディテクタは、フォトダイオード、フォトマルチプライア、または、フォトトランジスタのいずれか1つである、請求項2に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項4】

前記モードロック検出デバイスは、スペクトロメータ、スペクトルアナライザ、周波数ダブリング検出器、非線形強度検出器、または、オートコリレータのいずれか1つである、請求項1に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項5】

前記レイジング媒体は、Nd：ガラスから構成されている、請求項1に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項6】

前記レーザポンピングソースは、ダイオード、レーザ、または、アークランプのいずれか1つである、請求項1に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項7】

前記レーザビームは、連続的に繰り返すピコ秒範囲内の短い光パルスの列から形成されている、請求項1に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項8】

前記レーザビームは、連続的に繰り返すフェムト秒範囲内の短い光パルスの列から形成されている、請求項1に記載の起動制御を有するオシレータ。

【請求項9】

オシレータのモードロッキングの方法であって、

(a) ある期間の間にオシレータにオーバードライブ電流を提供し、モードロッキングを開始するステップと、

(b) レーザオシレータへの該オーバードライブ電流を該レーザオシレータの通常の動作電流まで低減させるステップと、

(c) 該オシレータを周期的にモニタリングして、該オシレータがモードロックされているかを決定するステップと

(d) ステップ(c)において該オシレータがモードロックされていない場合に、ステップ(a)～(c)を実行するステップと

を包含する、方法。

【請求項10】

前記ステップ(d)は、前記オシレータがモードロックされていない場合に、エラー信号を生成するステップをさらに包含する、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

前記オシレータは、

レイジング媒体と、

該レイジング媒体からある経路に沿って配向されたレーザビームを誘導するレーザポンピングソースと、

該レーザビームをモニタリングするモードロック検出デバイスと、

該モードロック検出デバイスに接続された処理ユニットであって、該処理ユニットは、該オシレータがモードロックされているか否かを示すモードロック状態を検出するように構成されている、処理ユニットと、

該処理ユニットおよびレーザポンピングソースに接続されたオーバードライブ回路であって、該オーバードライブ回路は、該オシレータがモードロックされていないことを該処理ユニットが検出したことに応答して、オシレータのモードロッキングを開始するために該レーザポンピングソースに電流を提供するように構成されている、オーバードライブ回路と

を含む、請求項9に記載の方法。

【請求項12】

前記モードロック検出デバイスは、フォトディテクタである、請求項11に記載の方法

【請求項 1 3】

前記フォトディテクタは、フォトダイオード、フォトマルチプライア、または、フォトトランジスタのいずれか 1 つである、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記モードロック検出デバイスは、スペクトロメータ、スペクトルアナライザ、周波数ダブリング検出器および非線形強度検出器、または、オートコリレータのいずれか 1 つである、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記レイジング媒体は、Nd：ガラスから構成されている、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記レーザポンピングソースは、ダイオード、レーザ、または、アークランプのいずれか 1 つである、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記レーザビームは、連続的に繰り返すピコ秒範囲内の短い光パルスの列から形成されている、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記レーザビームは、連続的に繰り返すフェムト秒範囲内の短い光パルスの列から形成されている、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記レーザポンピングソースは、ダイオード、レーザ、または、アークランプのいずれか 1 つである、請求項 1 3 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

モードロック型レーザは、非常に高反復速度のパルス列を発生させる。レーザがモードロックするためには、レーザが多く異なるキャビティモードで一度に発振し、かつ、これらの発振が同位相であることが必要である。モードロックは、レーザの特別動作の体制であり、イントラキャビティ変調（振幅または位相変調）は、全てのレーザモードに一定の位相、すなわちフェーズロックまたは「モードロック」で動作させることにより、レーザ出力の一時的な形は、連続して繰り返す短い（通常、ピコ秒またはフェムト秒の範囲の）光パルスの列を形成する。通常利用されるモードロックデバイスは、可飽和吸収体である。

【0002】

可飽和吸収体は、光の密度を増加させるとともに、光の吸収を減少させる材料である。可飽和吸収体は、通常、固体状態レーザキャビティの複数の密度でこの効果を示す。可飽和吸収体の重要なパラメータは、その波長範囲（光を吸収する場所）、その動的応答（可飽和吸収体が回復する速度）、および飽和流量（可飽和吸収体が飽和するための単位面積あたりのパルスエネルギー）である。可飽和吸収体は、その可飽和吸収体取り扱い得る流量（エネルギー／面積）に制限があり、この流量を超えると、可飽和吸収体は損傷を受ける。また、一旦レーザがモードロックされると、イントラキャビティレーザパワーに対する拡張された露光は、レーザビームを集光する際に可飽和吸収体を損傷させ得る。逆に、十分なエネルギーが提供されなければ、可飽和吸収体は、モードロックを停止する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上記説明、ならびに、自己位相変調および Kerr レンズのモードロック寄与のような他の非線形光学効果により、モードロックが開始するようにオシレータをオーバードライブするデバイスおよび方法が望ましい。さらに、このようなデバイスおよび方法は、フィードバックループを提供してオシレータのモードロック状態を判定し、オシレータポンプソースへのオーバードライブを提供してモードロックを開始し、かつ、レーザエネルギー

10

20

30

40

50

を最小の耐え得るエネルギーレベルまで減少させる。さらに、高イントラキャビティパワーによる２重のパルシングを避けるために、レーザパワーが低減されなければならない。

【課題を解決するための手段】

【０００４】

本発明は、オシレータ起動制御の装置および方法に関し、より詳細には、レーザをオーバードライブしてモードロック動作を実現する装置および方法に関する。

【０００５】

上記に説明された問題に対応するために、レーザオシレータは、レーザがモードロック型動作になる前に、短い時間で開始時に、より激しく駆動されなければならない。かつ、通常の動作のためのポンプパワーは、低減されなければならない。このことは、オシレータの起動の間、または、オシレータがモードロックを停止させる時に、ポンプダイオードのポンプ電流をオーバードライブすることによって達成され得る。

【０００６】

レーザがモードロック型動作であるかどうかを示すオシレータからのフィードバック信号が必要とされる。この信号は、フォトダイオードのようなモードロック検出デバイスから導出され得る。オシレータポンプダイオードは、フィードバックが、オシレータがモードロックされていないことをシグナリングするときにはいつでも、調節可能な時間および値でポンプ電流を増加させるように伸びる。

【０００７】

本発明のある局面では、起動が制御されるオシレータには、基板と、該基板にマウントされるレージング媒体と、該レージング媒体からレーザビームを誘発し、該基板にマウントされるレーザポンピングソースであって、該レーザビームはある経路に沿って導出される、レーザポンピングソースと、該基板のまわりにマウントされるモードロック検出デバイスと、該モードロック検出デバイスおよびレーザポンピングデバイスに接続されるオーバードライブ回路とが含まれる。例示のためであって、限定するものではないが、レーザポンピングソースは、ダイオード、レーザ、アークランプ、または他のソースであってもよい。

【０００８】

モードロックデバイスは、オシレータのモードロック状態を検出し得る任意のデバイスであり得る。ある実施形態では、モードロック検出デバイスは、フォトダイオードである。

【０００９】

オシレータの様々な構成が、本発明とともに利用され得る。本発明のある実施形態では、オシレータは、Nd：ガラスからなるレージング媒体を有する。Yb、Ti、Crドープホストのような他のレーザ材料および結晶ならびに他のレーザ材料および結晶は、オーバードライブをサポートすることに関して、非常に類似するように挙動する。

【００１０】

本発明のさらなる局面は、オーバードライブ回路である。オーバードライブ回路は、モードロック検出デバイスを利用してモードロック状態を検出するように構成される。オシレータが、モードロック（オシレータの開始または通常の動作の間に生じ得る）されない場合、オーバードライブ電流は、ポンプソース、例えば、レーザポンピングダイオードへの電流を提供する。

【００１１】

ある実施形態では、レーザビームは、ピコ秒またはフェムト秒の範囲の連続して繰り返す短い光のパルス列から形成される。

【００１２】

本発明の別の局面では、オシレータモードロックの方法は、（a）該オシレータがモードロックされる前に、ある期間、オシレータへのオーバードライブ電流を提供するステップと、（b）レーザオシレータへのオーバードライブ電流を該レーザオシレータの通常の動作電流まで減少されるステップと、（c）オシレータを周期的にモニタリングして、オ

10

20

30

40

50

シレータがモードロックされているかどうかを判定するステップとを包含する。

【0013】

本発明のさらなる局面では、ステップ(a)~(b)は、ステップ(c)においてオシレータがモードロックされていない場合に実行される。

【0014】

本発明のある実施形態では、エラー信号は、オシレータがモードロックされていない場合に発生する。モードロック検出デバイスは、オシレータがモードロックされていないかどうかを判定するために利用される。オシレータがモードロックされていない場合、オシレータのモードロック状態をモニタリングしている回路がエラー信号を発生させる。

【0015】

例示のためであって、限定するものではないが、本装置および方法とともに利用することに適したパルスレーザの例は、Nd:IntraLaseFSレーザのようなガラスレーザ、Coherent Inc. Inova(アルゴン)およびMira(Ti:サファイア)のような、アルゴンイオンポンプ固体状態モードロックレーザ、連続波ダイオードポンプ周波数ダブルYAGのようなダイオードレーザポンプ固体状態モードロックレーザ、ならびに、ダイレクトダイオードポンプモードロック固体状態レーザを含む。

【0016】

上記説明は、以下の本発明の詳細な説明がよりよく理解され得るように、本発明の特徴および技術的利点の概要をやや広義に示した。本発明のさらなる特徴および利点は、以下に説明され、本発明の特許請求の範囲の主題となる。本発明と同一の目的を実行するほかの構造を改変または設計するための基礎として、開示される概念および特定の実施形態が容易に利用され得ることが、当業者に理解されるべきである。また、このような等価な構成が本発明の特許請求に示された本発明の意図および範囲から逸脱していないことが、当業者に理解されるべきである。本発明の特徴であると信じられる新規性のある特徴は、動作の機構および方法について、さらなる目的および利点とともに、添付の図面と関連して考慮される際に、以下の説明からよりよく理解される。しかし、各図面は、例示および説明のために提供され、本発明の制限を規定するものとして意図されないことが、明確に理解されるべきである。

【0017】

本発明をより完全に理解するために、添付の図面に関連して以下の説明がなされる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

最初に図1を参照すると、本発明において利用されるオシレータ10の概略図が示される。オシレータの様々な構成が、本発明とともに利用され得る。示されるように、オシレータ10は、基板14にマウントされるレーザポンピングダイオード12を含む。レーザポンピングダイオード12は、ある波長を有するレーザビーム26を発生させる。光ビーム16がレーザポンピングダイオード12を離れる際に、レンズ20は、ダイクリックビームスプリッタ22を介して、レージング媒体24の上に光ビーム16を集光する。

【0019】

当業者に周知の方法で、レーザポンピングダイオード12からのビーム16の光は、レージング媒体24でレーザビーム16を誘導する。例えば、レージング媒体24は、Nd:ガラスから構成され得る。一旦誘導されると、レーザビーム26は、レージング媒体24から出力結合ミラー28へと移動する。明確にするために、図1を参照する際に、レーザビーム26、および、オシレータ10内でレーザビームが移動する経路は、両方ともナンバー26で示されることが理解される。

【0020】

例示されるオシレータ10の出力カップラ28は、出力カップラ28に入射したレーザビーム26の光の約95%以上を反射する。レーザビーム26の光の残りの5%以下、すなわち出力カップラ28から反射しなかったビーム26の一部分は、従って、オシレータ10を離れることが可能である。一方、出力カップラ28から反射されるレーザビーム26の光

10

20

30

40

50

の 95% 以上は、ダイクリックビームミラー 22 に向かって戻るように導かれる。

【0021】

レーザビーム 26 は、ミラー 22 で反射してターニングミラー 32 へ向かう。ターニングミラー 32 では、ミラー 34 に向かって反射する。ミラー 34 は、反共振ファブリーペロー可飽和吸収体 (AFPSA) または半導体可飽和吸収体ミラー (SESAM) のような当業者に周知であるタイプの多層半導体構造で構築される。SESAM は、ミラー構造へと構築される半導体可飽和吸収体である。この構造により、より高密度でより多くの光を反射するデバイスが生じる。SESAM は、800 nm より短い範囲から 1600 nm より大きい範囲までの様々な波長、数フェムト秒から数ナノ秒までのパルス幅、および、数ミリワットから 10 ワットより大きい範囲の平均パワーレベルをカバーし得る。

10

【0022】

ミラー 34 から、レーザビーム 26 は、その経路 26 に沿って出力カブラ 28 へと反射して戻る。そのリターン経路で、レーザビーム 26 はターニングミラー 32 によって順番に反射される。出力カブラ 28 では、ビーム 26 の光の 95% より多くが、出力カブラ 28 とミラー (SESAM) 34 との間の往復運動の間に再び反射される。これが、当業者に周知の方法で連続した結果、例えば、眼科手術に役立つパルスレーザビーム 36 が発生する。本明細書中で開示されるように、ミラー 34 と出力カブラ 28 との間の光学素子は、通常オシレータ 10 のキャビティと呼ばれるものを規定する。

【0023】

パルスレーザビーム 26 を生成かつ維持するために、オシレータ 10 のキャビティ内部のビーム 26 の光の分散制御が必要とされる。本発明のオシレータ 10 では、これは、チャープ (chirped) コーティングによって提供される。チャープコーティングは、反射素子、ミラー 22、出力カブラ 28、ターニングミラー 32、およびミラー 34 の反射性表面上に適切に積層されることにより、より短い波長 (例えば、青) の群速度は、より長い波長 (例えば、赤) の群速度に対して増加する。

20

【0024】

パルスレーザビーム 36 (すなわち、レーザビーム 26 の 5%) が出力カブラ 28 によってオシレータ 10 のキャビティから放射されると、パルスレーザビーム 36 は、ビームスプリッタ 38 へ導かれる。ビームスプリッタ 38 により、ビーム 36 の約 90 パーセント (90%) が利用可能なビーム 36' として通過することができる。ビーム 36' (すなわち、ビーム 36 の 90%) は、主に、眼科手術の手技で用いることが意図される。ビーム 36 の残りの 10 パーセント (10%) は、ビームスプリッタ 38 から、サンプルビーム 36'' として光デコーダ 40 に向かって反射する。

30

【0025】

図 1 に示されるように、光デコーダ 40 は、ライン 44 を介して処理ユニット 42 に接続される。処理ユニット 42 は、ライン 46 を介してオーバードライブ回路 49 に接続される。オーバードライブ回路 49 は、ライン 50 を介してポンプパワー制御 47 に接続され、ポンプパワー制御 47 は、ライン 48 を介してポンプダイオード 12 に接続される。

【0026】

図 2 を参照すると、フィードバックループ、および、オシレータモードロックを開始 / 維持するようにポンプソース 62 をオーバードライブするオーバードライブ回路 61 を示す、簡略化されたブロック図が例示される。ポンプソース 62 は、オーバードライブ回路 61 に接続される。ポンプソース 62 は、モードロック動作時に実行可能であるオシレータ 63 のためのポンプパワーを提供する。モードロック検出デバイス 64 は、ビームスプリッタ 65 を介してオシレータ 63、および、処理ユニット 66 に接続され、モードロック動作を検出する。モードロック検出デバイスとして、フォトディテクタ、好ましくはフォトダイオードが利用される。CCD、フォトマルチプライア、またはフォトランジスタを含む、他のタイプのフォトディテクタが利用され得る。さらに、モードロック検出デバイスとして、スペクトロメータ、スペクトルアナライザ、周波数ダブリング検出器、非線形強度検出器、またはオートコリレータが利用され得る。処理ユニット 66 は、オーバ

40

50

ードライブ回路 6 1 に接続され、オーバードライブ回路 6 1 は、ポンプソース 6 2 に接続され、それにより、フィードバックループを形成する。

【 0 0 2 7 】

図 3 を参照すると、ポンプソースをオーバードライブする回路のある実施形態が示される。入力されるモードロックエラー信号は、デジタルであり（すなわち、レーザが適切にモードロックされていなければ、1）信号を検出デバイスから解析する処理ユニットからのものである。エラー信号は、モノステーブルフリップフロップをトリガーし、出口 U 2 をある期間、ハイ状態にスイッチする。アップ時間は、 $R 0 * C 1$ 時定数（通常は、約 3 秒）によって調節される。続くオペアンプは、反転加算器として機能する。オペアンプは、オーバードライブ電圧 $U 2 * (R 1 / R 2)$ をポンプソースの基本設定 $U 3 * (R 1 / R 3)$ に付加する。U 3 は、固定基準電圧である。この追加により、第 2 のオペアンプ（ゲインは $- R 5 / R 4$ ）によって反転して戻され、かつ、増幅される。最後の出口電圧 U 5 は、ポンプソースに向けられ、ポンプソースを比例するように駆動する。モードロック動作を終了したオシレータに応答して、制限された期間オーバードライブを提供し、モードロック動作へオシレータを戻す、別の回路が利用され得る。

【 0 0 2 8 】

特定のレーザをオーバードライブするために、特定のパーセンテージのレーザが、利用されるゲイン材料、利用される可飽和吸収体、ミラーのコーティング、およびレーザキャビティのデザインを含むレーザの変量に若干依存する。しかし、所与のオシレータのモードロックを開始させるために必要な特定のパワーは、レーザオペレータによって判定される。このベースパワーレベルは、特定の量またはパーセンテージだけ増加して、オシレータをモードロック動作状態に置く。著しく増大するパワーを利用すべきであるが、可飽和吸収体または他のレーザの素子が損傷を受けないように制限されるべきである。ある実施形態では、モードロック動作に必要なベース電流を超えるオーバードライブ電流の増大したパーセントは、3 % から 6 0 % の範囲であった。他のオシレータは、オーバードライブ電流の 1 % から 5 0 0 % の範囲となり得る。ここでも、モードロック動作を開始させるベース電流が判定されることが重要である。

【 0 0 2 9 】

例えば、本発明のある実施形態では、ダイオードポンプレーザを有するオシレータは、. 8 アンプの動作電流を有する。オシレータの開始時に、ダイオードポンプレーザは、2 0 0 m A のオーバードライブ電流を提供される。フォトディテクタを含むフィードバックループは、アクティブレーザをモニタリングして、モードロック動作を達成するときを判定する。アクティブレーザがモードロック動作を達成したとき、オーバードライブ電流は、通常の動作電流まで低減される。続いて、アクティブレーザがモニタリングされる。アクティブレーザがモードロック動作を終了した場合、エラー信号が発生される。ダイオードポンプレーザへのオーバードライブ電流を提供するように構成される回路は、この信号を受け取り、その後、アクティブレーザは、再度モードロック動作になる。アクティブレーザの動作中、周期的なモニタリングが継続する。

【 0 0 3 0 】

本発明およびその利点が詳細に説明されたが、様々な改変、代用、および変更が、添付の特許請求の範囲に記載される本発明の意図および範囲から逸脱することなく本明細書においてなされ得ることが理解されるべきである。さらに、本出願の範囲は、本明細書中に記載されるプロセス、マシン、製造物、物質の組成、手段、方法、およびステップの特定の実施形態に限定されることが意図されない。本発明の開示から当業者には容易に理解されように、本明細書中に記載の対応する実施形態と実質的に同一の機能を実行するか、または、実質的に同一の結果を達成する、既存または今後開発されるプロセス、機械、製造物、物質の組成、手段、方法、またはステップが、本明細書により利用され得る。さらに、添付の特許請求の範囲は、その範囲にこのようなプロセス、機械、製造物、物質の組成、手段、方法、またはステップを含むことが意図される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 1 】

【図 1】図 1 は、本発明とともに利用され得るオシレータの概略図である。

【図 2】図 2 は、フィードバックループおよびモニタリング回路のブロック図である。

【図 3】図 3 は、レーザポンピングソースをオーバードライブする電子回路の概略図である。

【 図 1 】

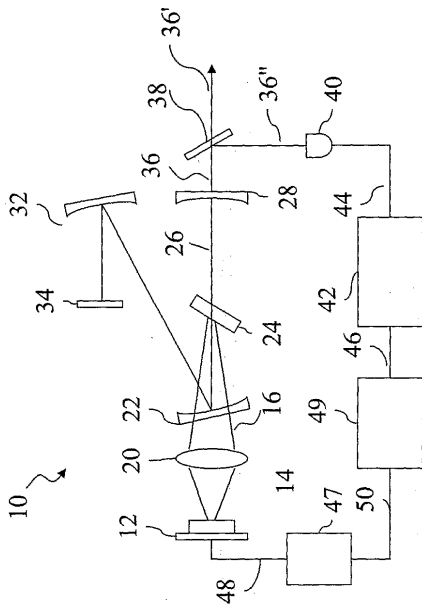


Figure 1

【 図 2 】

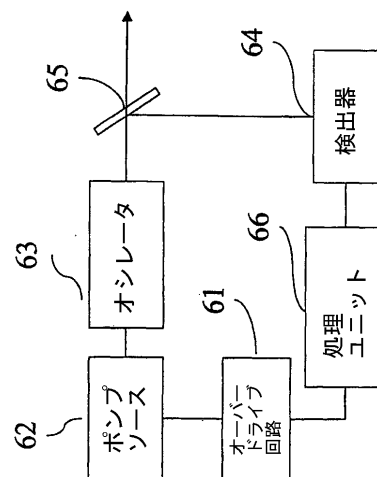


Figure 2

【 図 3 】

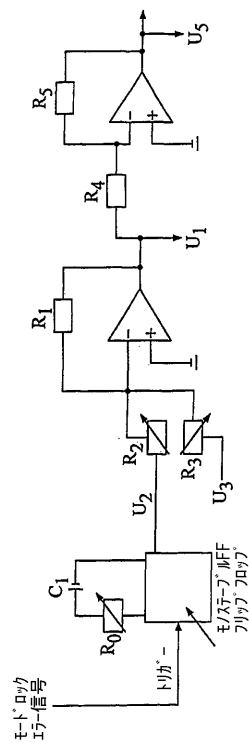


FIG. 3

フロントページの続き

(72)発明者 ザドヤン, ルーベン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 92612, アーバイン, リーハイ アイスル 83

審査官 前川 慎喜

(56)参考文献 特開平02-263126(JP,A)

特開平05-198867(JP,A)

特開2003-298160(JP,A)

特開平04-144178(JP,A)

実開昭63-001365(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 4/00